永久保存

ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3558号

土 木 研 究 所 資 料

ダム施設における鋼構造物の防食に関する調査報告書（その１）

－ ステンレス鋼材の適用性に関する試験 －

平成10年１月

建設省土木研究所材料施工部化学研究室
建設省東北地方建設局道路部機械課

Copyright©(1998)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。

土木研究所資料
第3558号 1998年1月

ダム施設における鋼構造物の防食に関する調査報告書（その1）

－ ステンレス鋼材の適用性に関する試験 －

建設省土木研究所
10.6.10
図書館

土木研究所材料施工部
化学研究室　室　　長　明嵐　政司
主任研究員　守屋　　進
東北地方建設局道路部
機械課　　課　　長　池田　八郎
課長補佐　阿部　新治

要　旨

ダム施設の鋼構造物のメンテナンスを簡易化することが求められており、防食技術を確立することが求められている。

本報告書は、ステンレス鋼材をダム施設に適切に使用するために必要なデータを収集することを目的として行った室内試験及び屋外暴露試験結果をとりまとめたものである。

キーワード：ダム施設，鋼構造物，防食，ステンレス鋼材，室内試験，屋外暴露試験

まえがき

ダム施設は、洪水調整や灌漑用水・飲料水の確保並びに発電など多目的に河川水を有効利用したり制御するための重要な施設である。

ダム施設の鋼構造物は、水を制御したり利用するための重要な設備であり、複雑な構造をした多くの部材で構成されているものが多く、機能を維持するためのメンテナンスも施設の運用上、限られた期間に行うことが求められなど制約条件も多い。

このため、ダム施設では早くからメンテナンスを軽減するため他の土木構造物よりステンレス材料などの耐食材料が比較的多く使用されている。

しかしながら、ステンレス材料は適切に使用されないとかえって周囲の鋼構造物などに悪影響を与えてしまう場合や、ステンレス材料が腐食することもあることが明らかとなってきた。すでに、ステンレス材料の利用実態を調査（土木研究所資料第２９０９号）し、ステンレス材料の淡水環境における腐食挙動（土木研究所資料第３１６５号）を明らかにし、ステンレスクラッド鋼をダム施設に適用するためのマニュアル（案）（土木研究所資料第３１５６号）を提案している。

本報告は、それ以降に実施したステンレス材料に関するすき間腐食に関する試験，淡水環境（ダム湖）及び汽水環境（河口堰）における暴露試験，溶接部の処理並びに微生物の腐食への影響に関する暴露試験の中間結果をとりまとめたものである。

目　　次

まえがき

1．もらい錆の腐食への影響に関する室内試験 …… 1

1．1試験概要 …… 1

1．2淡水環境下での耐食性 …… 1

1．3もらい錆の共存した淡水環境下での耐食性 …… 4

1．4まとめ …… 24

2．七ヶ宿ダム湖における暴露試験 …… 33

2．1試験概要 …… 33

2．2暴露試験環境 …… 33

2．3異種金属接触腐食試験 …… 44

2．4すき間腐食試験（その1） …… 66

2．5すき間腐食試験（その2） …… 87

2．6腐食速度評価試験 …… 110

2．7ワイヤロープ用防錆グリース試験 …… 116

2．8まとめ …… 127

3．江戸川水門における暴露試験 …… 130

3．1試験概要 …… 130

3．2暴露試験環境 …… 130

3．3汽水域における試験（下流域） …… 146

3．4淡水域における試験（上流域） …… 187

3．5まとめ …… 210

4．溶接後の表面処理および微生物の影響調査 …… 212

4．1調査概要 …… 212

4．2暴露試験 …… 212

4．3試験片 …… 212

4．4調査項目 …… 216

4．5調査結果 …… 217

4．6まとめ …… 238

あとがき …… 240

１．もらい錆の腐食への影響に関する室内試験

１．１試験概要

ダムは、洪水調節・灌漑用水や飲料水の確保・発電等、河川水を多目的に利用するための大規模な河川構造物である。なかでも、放流設備はこれらの目的で河川水を利用・制御するための重要な設備である。放流設備は、複雑な構造をした多くの部材で構成されており、また常時水に接する厳しい腐食環境にあるため、常にその機能を維持するためには、多大なメンテナンスを要する。放流設備のメンテナンスを軽減することを期待して、ステンレス材料が他の土木構造物に比べて早くから使用されており、すでに１９６０年頃からゲートの戸当たり材，放流管などに使用されてきた。

しかしながら、淡水中で耐食性に優れるステンレス鋼といえども環境に適した材種の選定や適切な設計・施工が行われなければ腐食することが明らかとなってきた。このため、ステンレス鋼材の淡水～汽水域での腐食挙動を明らかにする必要がある。

本報告書では、ＳＵＳ３１６ＬおよびＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌのすき間腐食発生の限界塩素イオン濃度を明らかにするための試験を行った。

１．２淡水環境下での耐食性

１．１．１目的

淡水環境中におけるステンレスＳＵＳ３１６ＬおよびＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌの耐すき間腐食性に及ぼす塩素イオン濃度と温度の影響を明らかにするため、ＡＳＴＭ　Ｇ７８－８９（Standard Guide for Crevice Testing of Iron-Base and Nickel-Base Stainless Alloys in Seawater and Other Chloride-Containig Aqueus Environments）に準拠してすき間腐食試験を行った。比較のためＳＵＳ３０４も同じ試験をした。

１．１．２実験方法

（１）供試材

試験に供したＳＵＳ３０４，ＳＵＳ３１６ＬおよびＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌの化学成分を表1.2.1 に、機械的性質を表1.2.2 に示す。

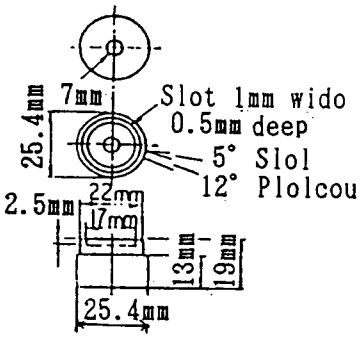


図 1.2.1　すき間形成材

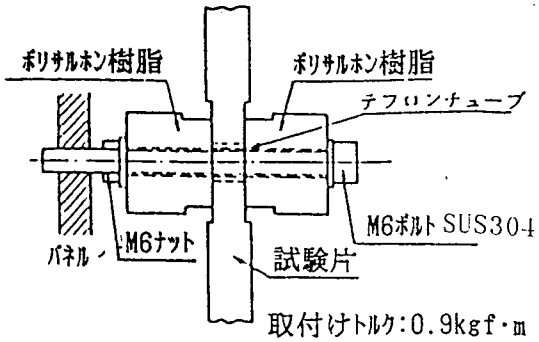


図 1.2.2　すき間腐食試験片装着状況

表1.2.3 すき間腐食試験条件

項　目	試　験　条　件
溶　液	塩素イオン濃度　3水準　200, 2000, 20000ppm
温　度	2水準　30℃, 50℃
試験時間	6ヶ月間（3ヶ月ごとに試験片を取り出し調査）
溶存酸素	空気飽和（air バブリング）
すき間治具	ポリサルホン樹脂
締付トルク	0.9kgf・m

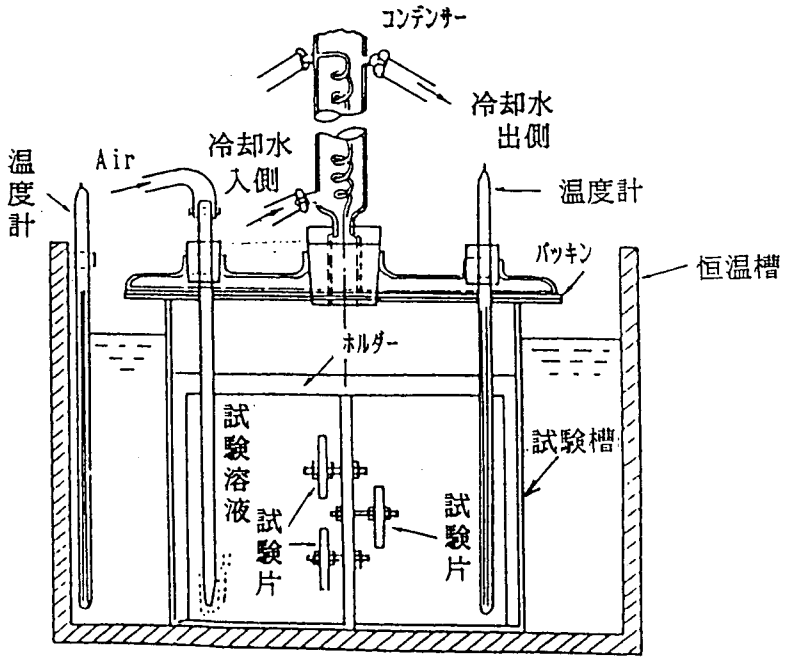


図 1.2.3　すき間腐食試験装置の概略図

表1.2.1 供試材の化学成分　　（質量%）

鋼　種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他
SUS304	0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	———
SUS316L	0.019	0.62	0.90	0.03	0.001	12.10	17.47	2.1Mo
SUS329J4L	0.019	0.56	0.91	0.023	0.001	7.26	24.86	2.98Mo,0.29W 0.42Cu,0.15N

表1.2.2 供試材の機械的性質

鋼　種	引　張　試　験			硬さ試験 (HRB)	溶体化処理
	0.2% 耐力 (kgf/mm^2)	引張強さ (kgf/mm^2)	伸　び (%)		
SUS304	33	64	52	86	1100℃,25min WQ
SUS316L	31.5	60.1	51	82	1080℃ WQ
SUS329J4L	60.4	81.5	29	23 *	1100℃ WQ

* ：HRC

（2）すき間腐食試験

淡水中におけるステンレスＳＵＳ３０４，ＳＵＳ３１６ＬおよびＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌの耐すき間腐食性に及ぼす塩素イオン濃度と温度の影響を明らかにするため、以下の試験を行った。

すき間腐食試験は、ＡＳＴＭ　Ｇ７８－８９に準拠し、'4.7 × ʷ100 × ᴸ100 の中央部にφ7.0mm の穴を開けた試験片を図1.2.1 のポリサルホン樹脂製すき間形成材で図1.2.2 に示すように挟んで装着して 8.82N・m(0.9kgf・m)で締めつけて実験に供した。一枚の試験片には両側で約2mm 各のすき間を40個形成した。すき間腐食試験条件を表1.2.3 に、図1.2.3 にすき間腐食試験装置の概略を示す。

１．３もらい錆の共存した淡水環境下での耐食性

１．３．１目的

淡水環境中では SUS316Lおよび SUS329J4Lは、耐すき間腐食性および耐孔食性に優れているため、室内試験ではすき間腐食は発生しにくい。土木研究所資料第3165号で行ったもらい錆に関する実験の結果、もらい錆を模擬した Fe_2O_3あるいはγ－FeOOH が共存すると、微量のCl^- でもSUS304に孔食が生じることが明らかとなった。今回、淡水および汽水における暴露試験との相関性を検討することを目的として、Fe_2O_3 を含む塩素イオン水中での SUS316Lおよび SUS329J4Lの耐すき間腐食試験を行った。

１．３．２試験方法

（１）供試材

試験に供したSUS304,SUS316Lおよび SUS329J4Lの化学成分は表1.2.1 と、機械的性質を表1.2.2 と同じである。

（２）すき間腐食試験

すき間腐食試験は、１．２．２（２）と同様に行った。ただし、温度は50℃の１水準である。試験装置の概略図を図1.3.1 に示す。

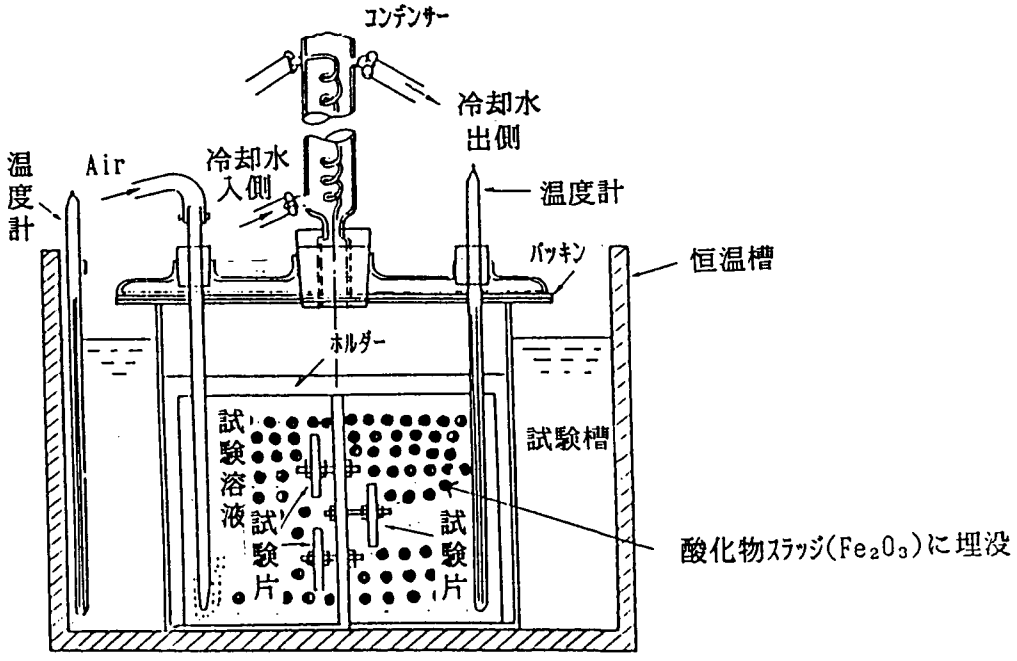


図1.3.1　試験装置の概略図

（3）試験結果

NaCl単味30℃におけるすき間腐食試験の結果を表1.2.4 に示す。すき間腐食深さと塩素イオン濃度の関係を図1.2.4 に示す。

SUS304は、Cl^- 200ppmではすき間腐食が発生しなかったが2,000ppm以上になるとすき間腐食が生じた。 SUS316Lは、Cl^- 2,000ppmではすき間腐食が発生しなかったが20,000ppm になるとすき間腐食が生じた。 SUS329J4Lは、Cl^- 20,000ppm でもすき間腐食は発生せず、耐すき間腐食性に優れていた。

NaCl単味50℃におけるすき間腐食試験の結果を表1.2.5 に示す。すき間腐食深さと塩素イオン濃度の関係を図1.2.5 に示す。

SUS304,SUS316Lは、温度が変わってもすき間腐食が発生する塩素イオン濃度は変わらずかった。SUS304は2,000ppm以上で、SUS316L は20,000ppm ですき間腐食が生じた。SUS329J4L は、Cl^- 20,000ppm でもすき間腐食は発生しなかった。

これまでのデータをまとめて図1.2.6 に示す。これより、Cr量の少ないSUS410とSUS430はすき間腐食感受性が高く、Cr量の増大とともにすき間腐食感受性は低下することが明らかとなった。特に SUS329J4Lは耐すき間腐食性に優れており、淡水中ではすき間腐食は発生しない。

すき間腐食発生状況を写真 1.2.1～6 に示す。

表 1.2.4　NaCl単味・30℃におけるすき間腐食試験結果

鋼　種	記　号	塩素イオン濃度(ppm)	試験時間(月)	すき間腐食深さ(mm)		すき間腐食発生率(%)
				表側(マーク側)	裏側(マーク反対側)	
SUS304	304-1	200	6	なし	なし	0
	304-2	2,000	6	なし	0.04(2点)	5
	304-3	20,000	6	0.12(7点)	なし	17.5
SUS316L	316L-1	200	6	なし	なし	0
	316L-2			なし	なし	0
	316L-3	2,000	6	なし	なし	0
	316L-4			なし	なし	0
	316L-5	20,000	6	0.04(2点)	0.07(4点)	15
	316L-6			なし	0.06(1点)	2.5
SUS329J4L	DP3-1	200	6	なし	なし	0
	DP3-2			なし	なし	0
	DP3-3	2,000	6	なし	なし	0
	DP3-4			なし	なし	0
	DP3-5	20,000	6	なし	なし	0
	DP3-6			なし	なし	0

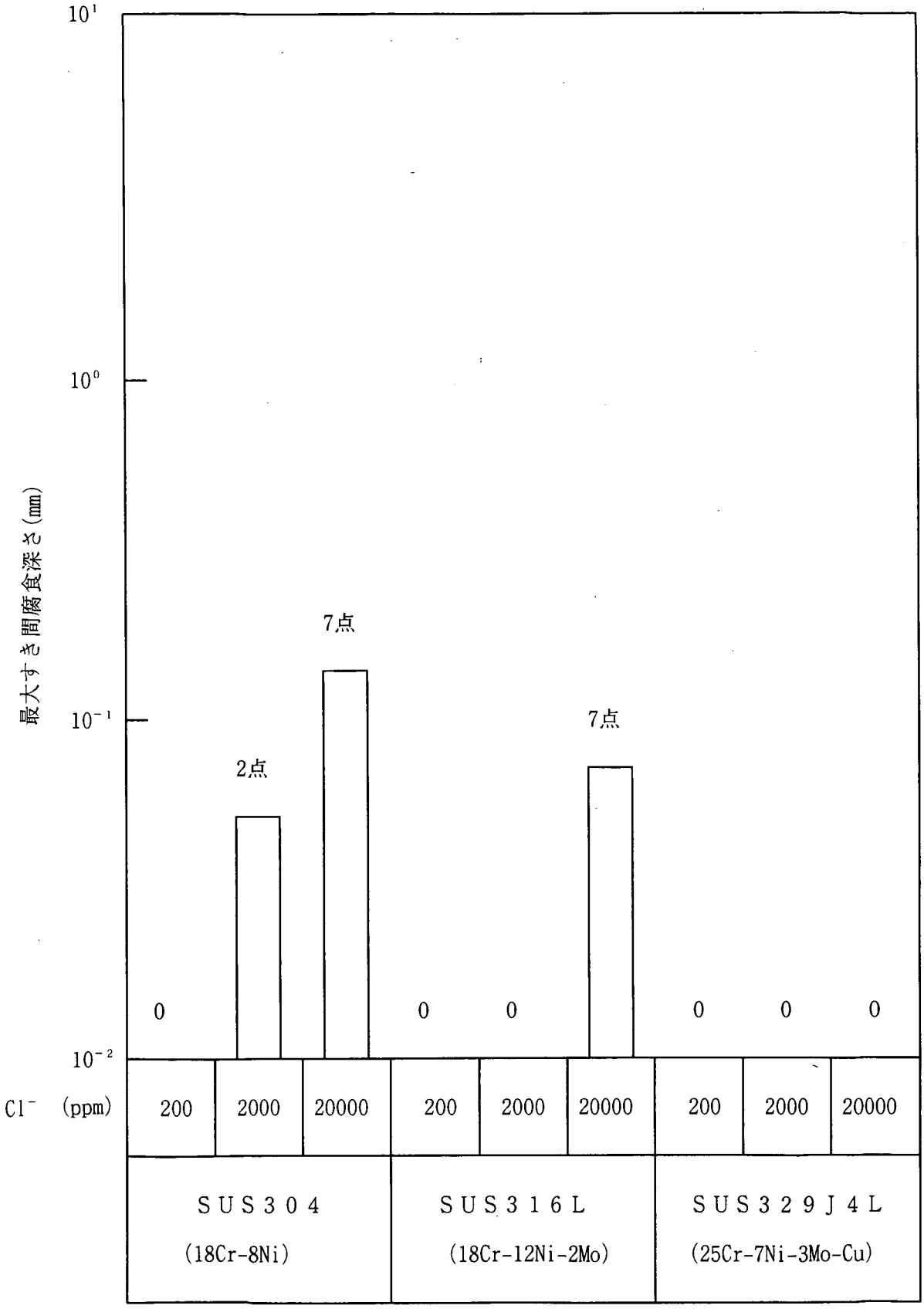


図1.2.4 すき間腐食試験結果（NaCl単味・30℃,6カ月）

表 1.2.5　NaCl単味・50℃におけるすき間腐食試験結果

鋼　種	記　号	塩素イオン濃度(ppm)	試験時間(月)	すき間腐食深さ(mm)		すき間腐食発生率(%)
				表側(マーク側)	裏側(マーク反対側)	
SUS304	304-1	200	6	なし	なし	0
	304-2	2,000	6	なし	0.06(1点)	2.5
	304-3	20,000	6	0.13(1点)	なし	2.5
SUS316L	316L-1	200	6	なし	なし	0
	316L-2			なし	なし	0
	316L-3	2,000	6	なし	なし	0
	316L-4			なし	なし	0
	316L-5	20,000	6	なし	0.15, 0.03(2点)	5
	316L-6			なし	0.07, 0.05(2点)	5
SUS329J4L	DP3-1	200	6	なし	なし	0
	DP3-2			なし	なし	0
	DP3-3	2,000	6	なし	なし	0
	DP3-4			なし	なし	0
	DP3-5	20,000	6	なし	なし	0
	DP3-6			なし	なし	0

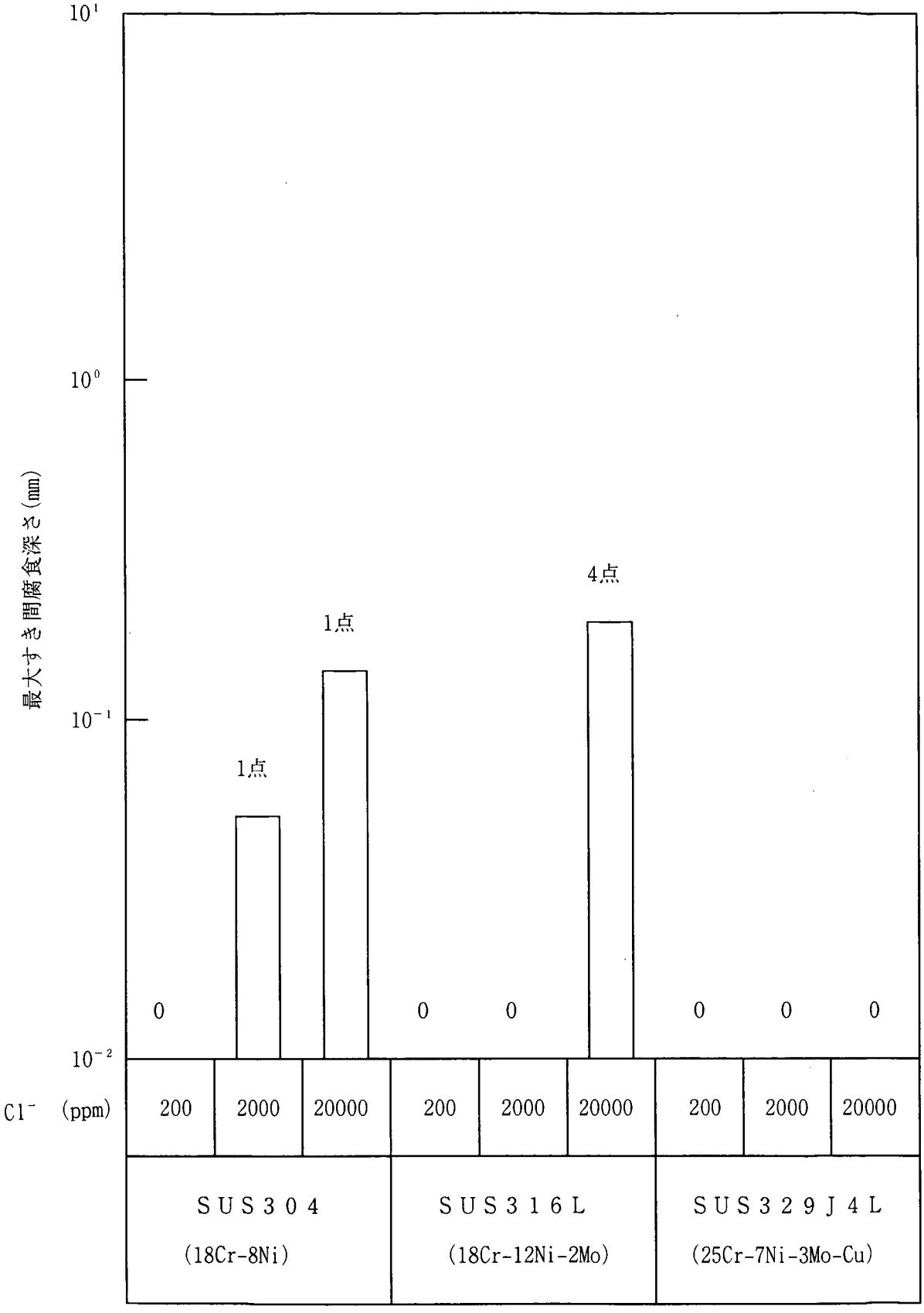


図1.2.5 すき間腐食試験結果（NaCl単味・50℃,6カ月）

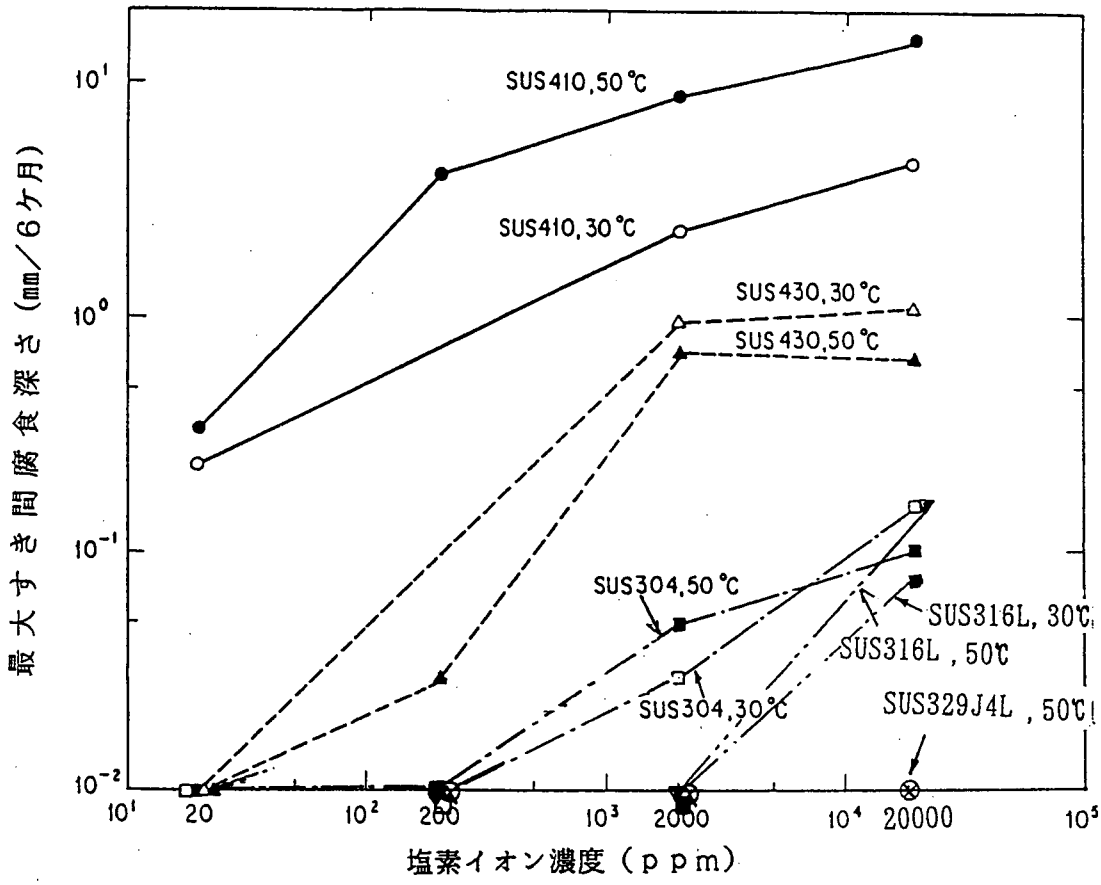


図 1.2.6　すき間腐食深さに及ぼす塩素濃度の影響

〔Cl^- (NaCl), 6ケ月間〕

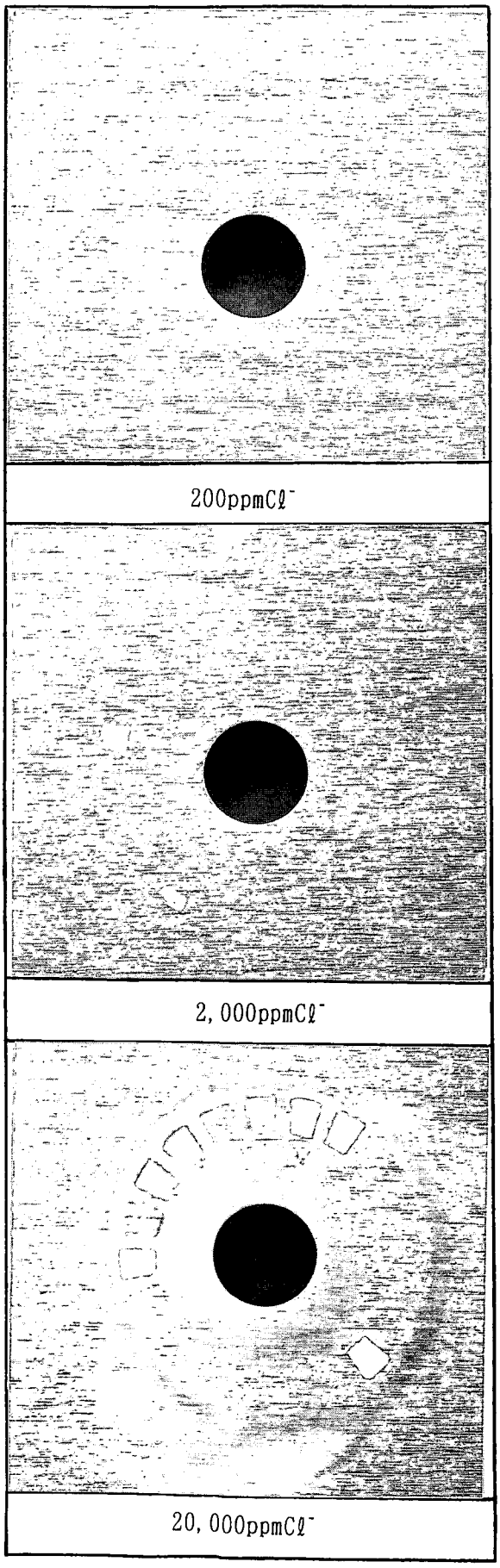


写真 1.2.1　Ｃℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３０４のすき間腐食発生状況

〔30℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕

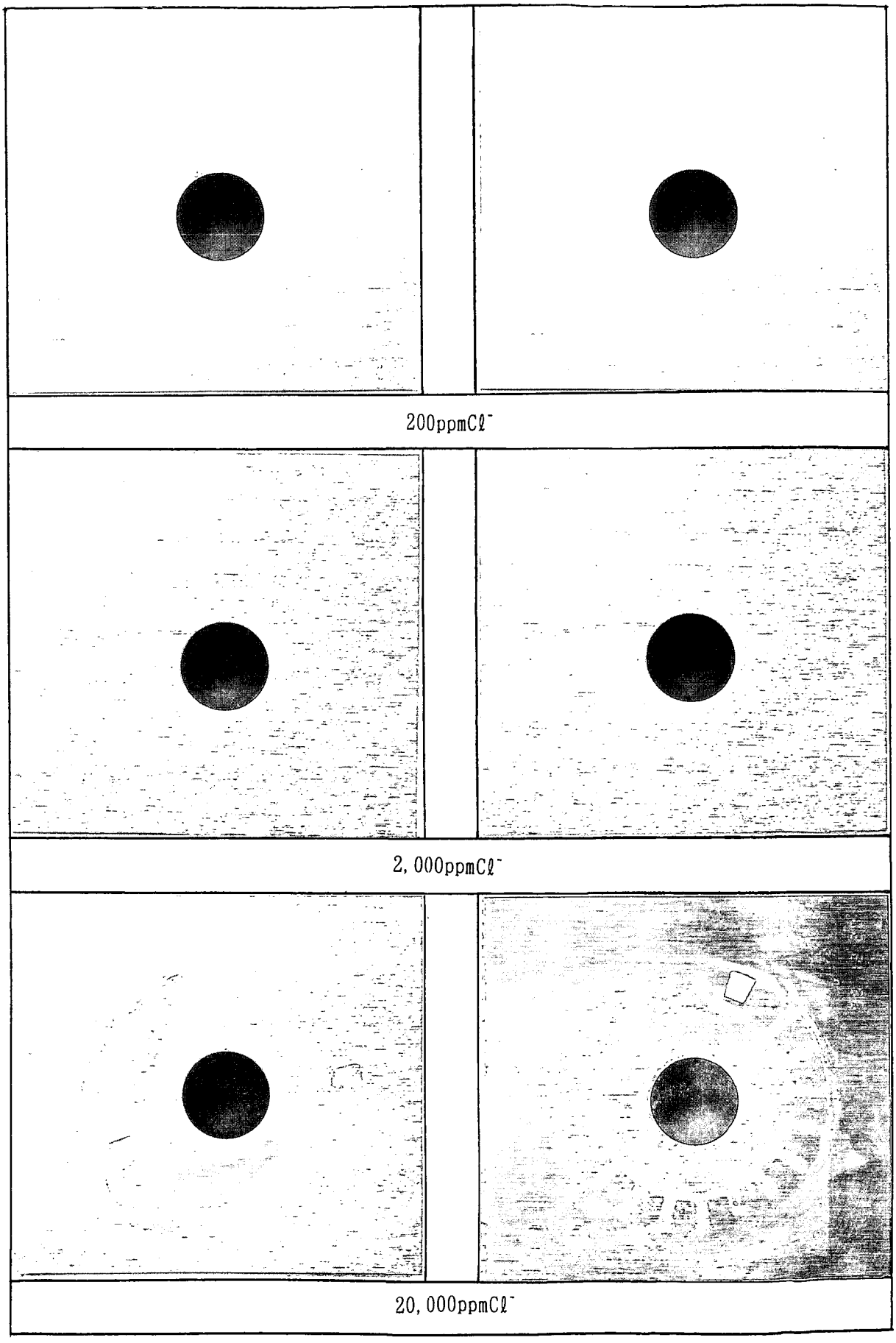


写真 1.2.2　Ｃℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３１６Ｌのすき間腐食発生状況

〔30℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾞﾙﾀｲﾌﾟ〕

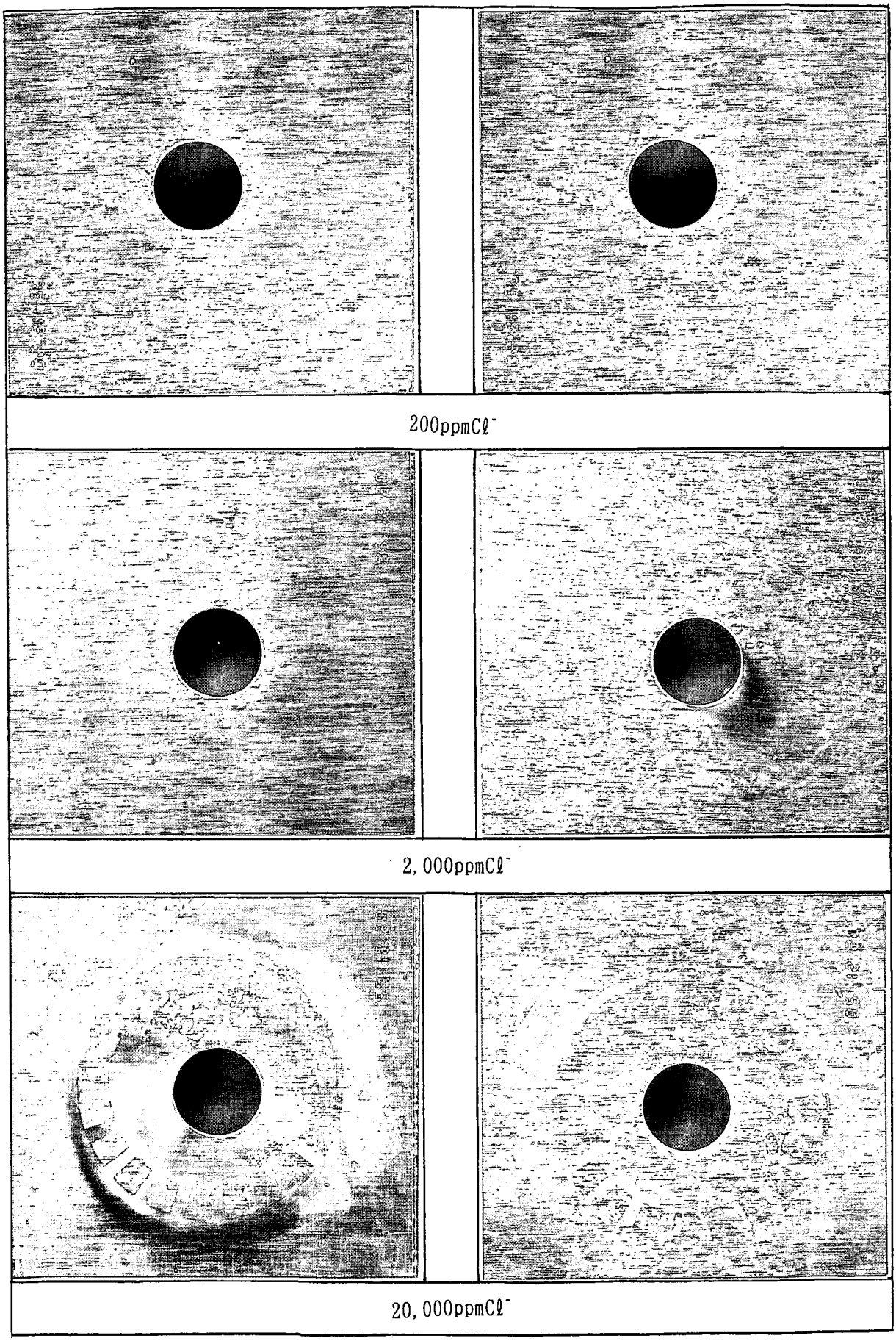


写真 1.2.3　Cℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌのすき間腐食発生状況

〔30℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕

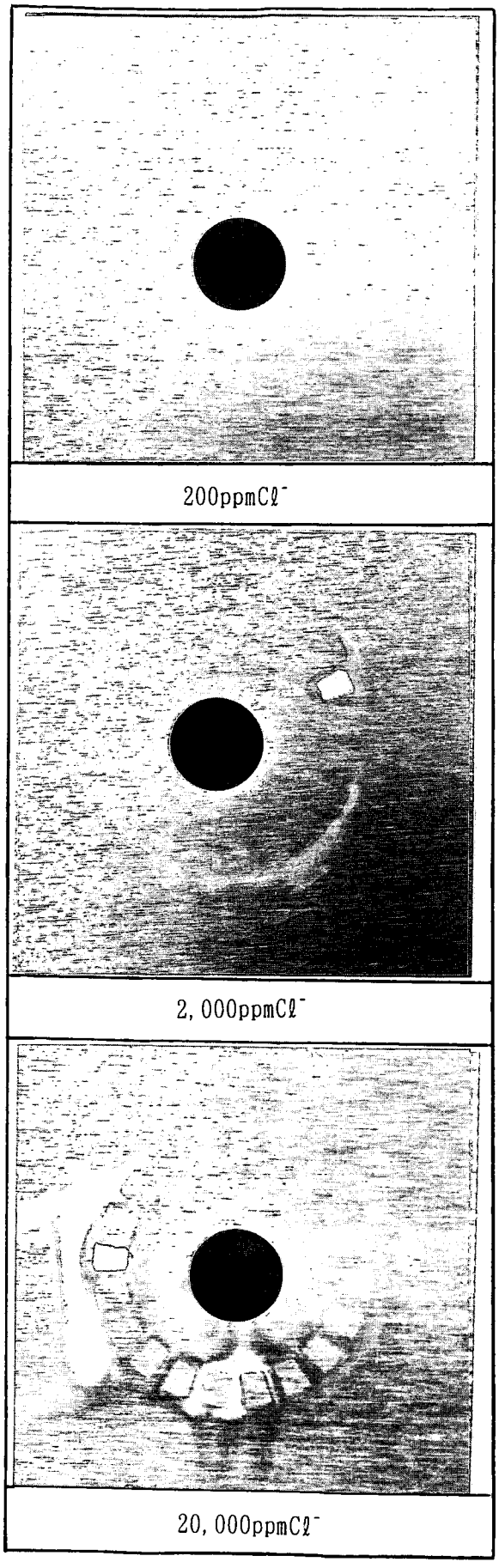
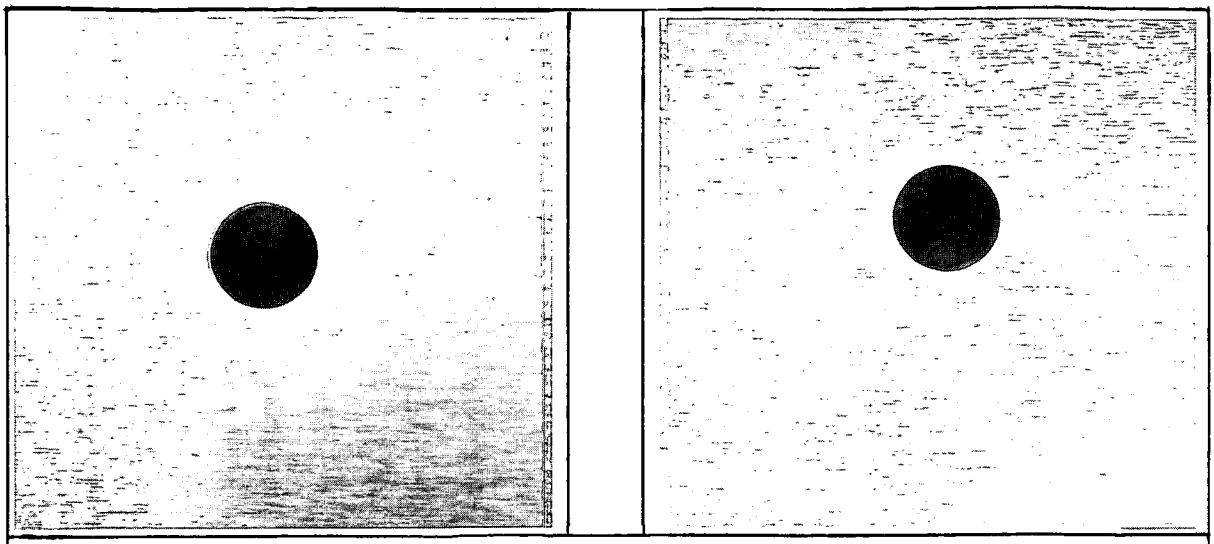
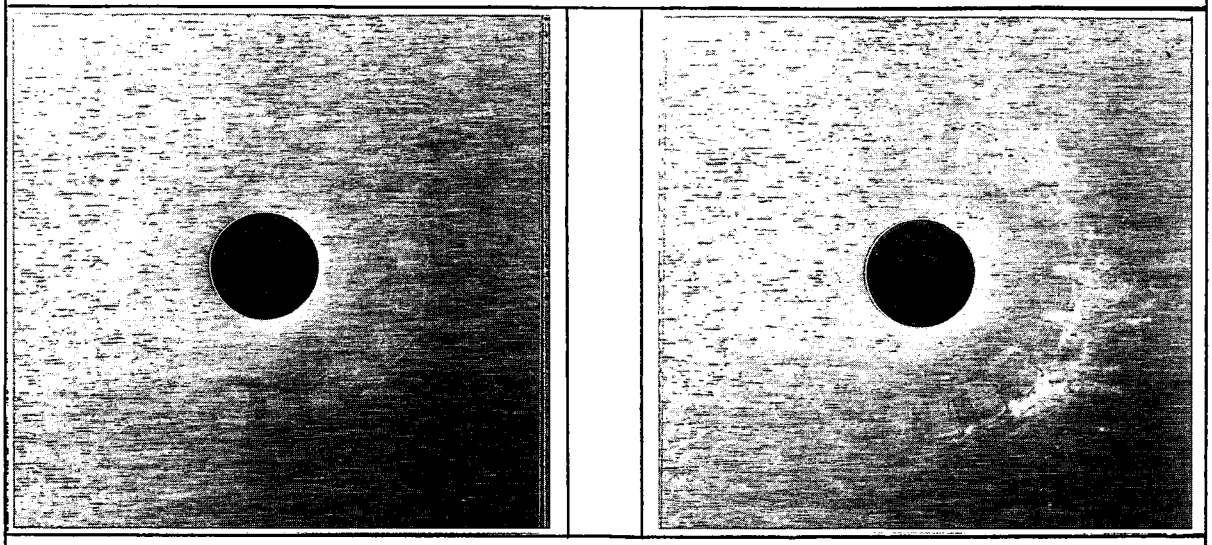


写真 1.2.4　Ｃℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３０４のすき間腐食発生状況

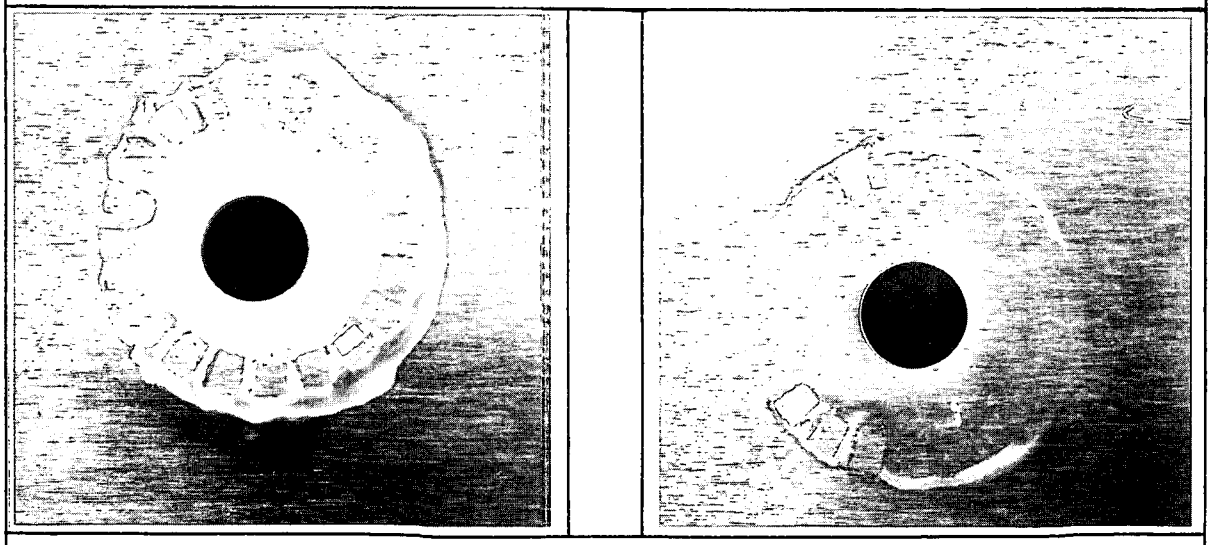
〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕



200ppmCℓ⁻



2,000ppmCℓ⁻



20,000ppmCℓ⁻

写真 1.2.5　Cℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３１６Ｌのすき間腐食発生状況

〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾞﾙﾀｲﾌﾟ〕

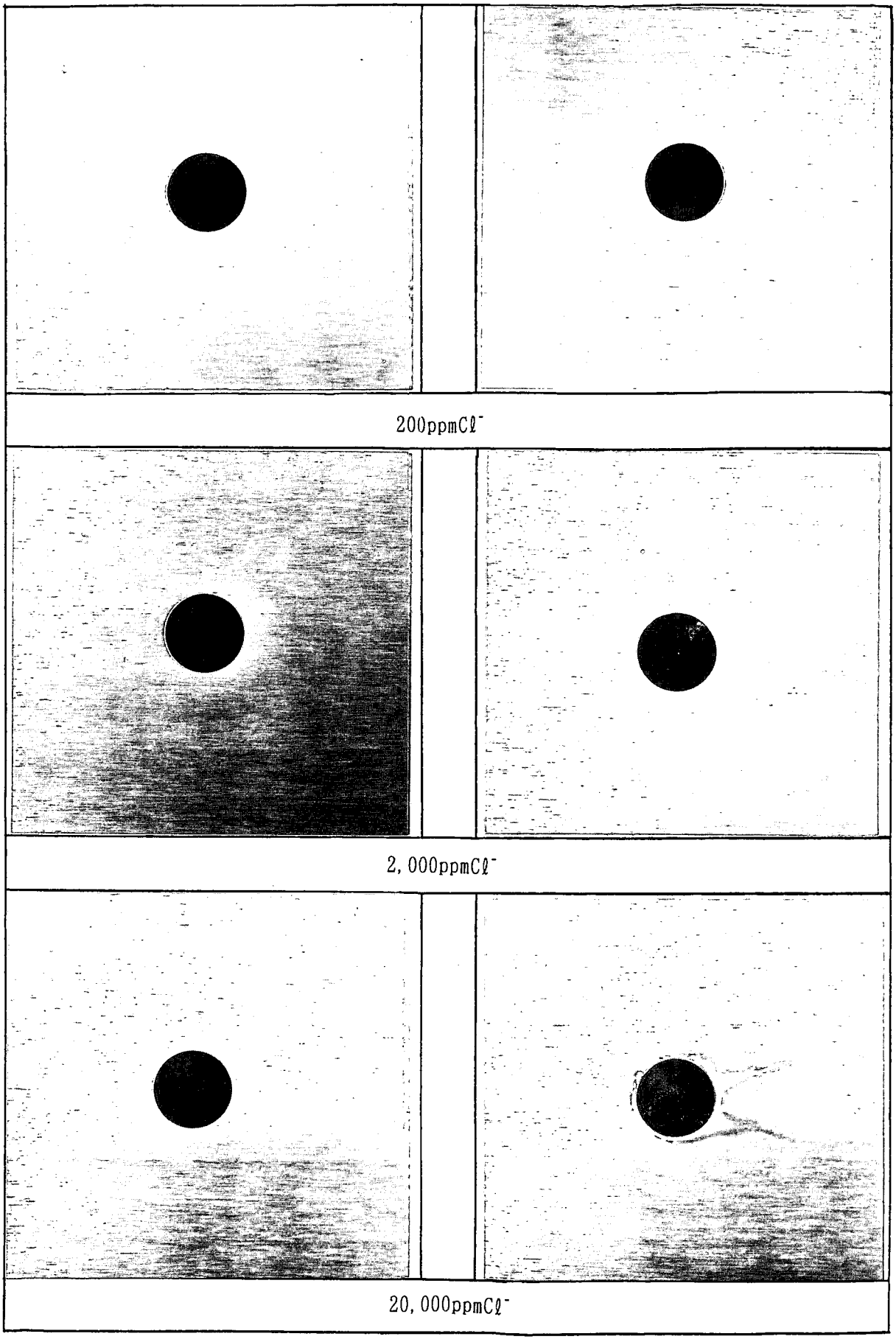


写真 1.2.6　　Cℓ⁻ 単味溶液中でのＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌのすき間腐食発生状況

〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕

１．３．３試験結果

試験結果を表1.3.1 と図1.3.2 ～3 に示す。

SUS304は、Fe_2O_3 が存在するとCl^- 200ppmですき間腐食が発生し、Cl^- 濃度が増大するとすき間腐食は深くなった。

SUS316L は、Cl^- 2,000ppmですき間腐食が発生した。

SUS329J4L は、Cl^- 20,000ppm ですき間腐食が発生した。

すなわち、Fe_2O_3 が共存するとCl^- 単味溶液中よりもすき間腐食発生の下限Cl^- 濃度は低下し、すき間腐食感受性は高まることが明らかとなった。

すき間腐食の発生状況を写真1.3.1 ～3 に示す。

以上のことから、Cl^- 環境下でもらい錆が存在するとステンレス鋼は、すき間腐食が発生しやすいことが明らかとなった。

表 1.3.1　Cl^-＋Fe_2O_3・50℃におけるすき間腐食試験結果

鋼　種	記　号	塩素イオン濃度(ppm)	試験時間(月)	すき間腐食深さ(mm)		すき間腐食発生率(%)
				表側(マーク側)	裏側(マーク反対側)	
SUS304	304-4	200	6	0.12(1点)	なし	2.5
	304-5	2,000	6	0.11, 0.08, 0.09 0.32, 0.06(4点)	0.01, 0.33, 0.26 0.19, 0.07(5点)	12.5
	304-A	20,000	6	0.03, 0.06, 0.06 0.09, 0.11, 0.22 0.11(7点)	0.10～0.35 (20点)	67.5
SUS316L	316L-7	200	6	なし	なし	0
	316L-8			なし	なし	0
	316L-9	2,000	6	なし	なし	0
	316L-10			0.01, 0.06(2点)	なし	5.0
	316-A	20,000	6	なし	0.10~0.26(10点)	25.0
	316-B			0.20, 0.09(2点)	0.03～0.26(9点)	27.5
SUS329J4L	DP3-7	200	6	なし	なし	0
	DP3-8			なし	なし	0
	DP3-9	2,000	6	なし	なし	0
	DP3-10			なし	なし	0
	DP3-A	20,000	6	0.06～0.14 (9点)	0.13, 0.13, 0.15 0.12(4点)	32.5
	DP3-B			0.05, 0.06, 0.11 (3点)	0.11, 0.13, 0.13 0.13(4点)	17.5

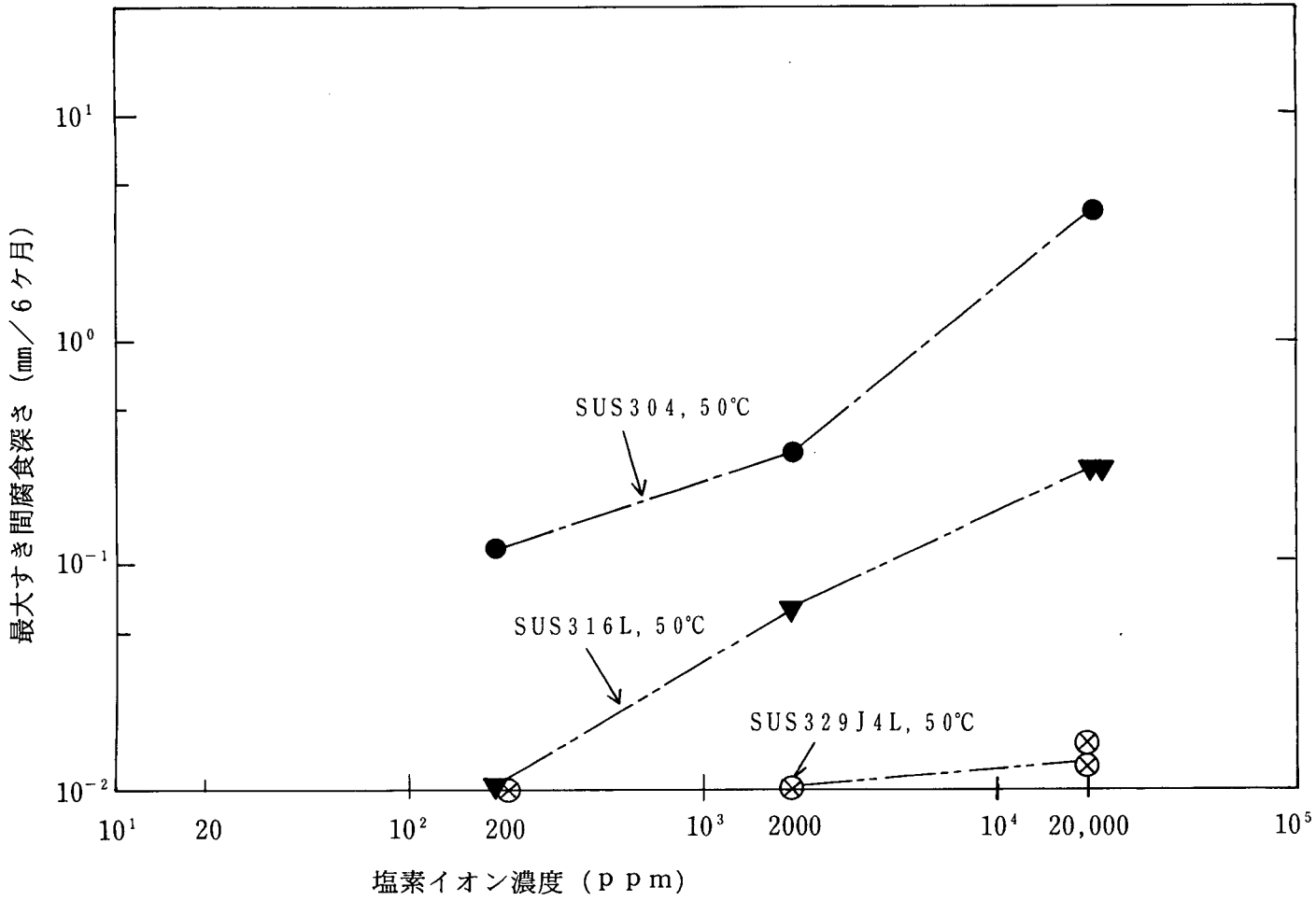


図 1.3.2　Cl^{-} ＋ Fe_2O_3・50℃におけるすき間腐食深さに及ぼす塩素濃度の影響〔6ケ月間〕

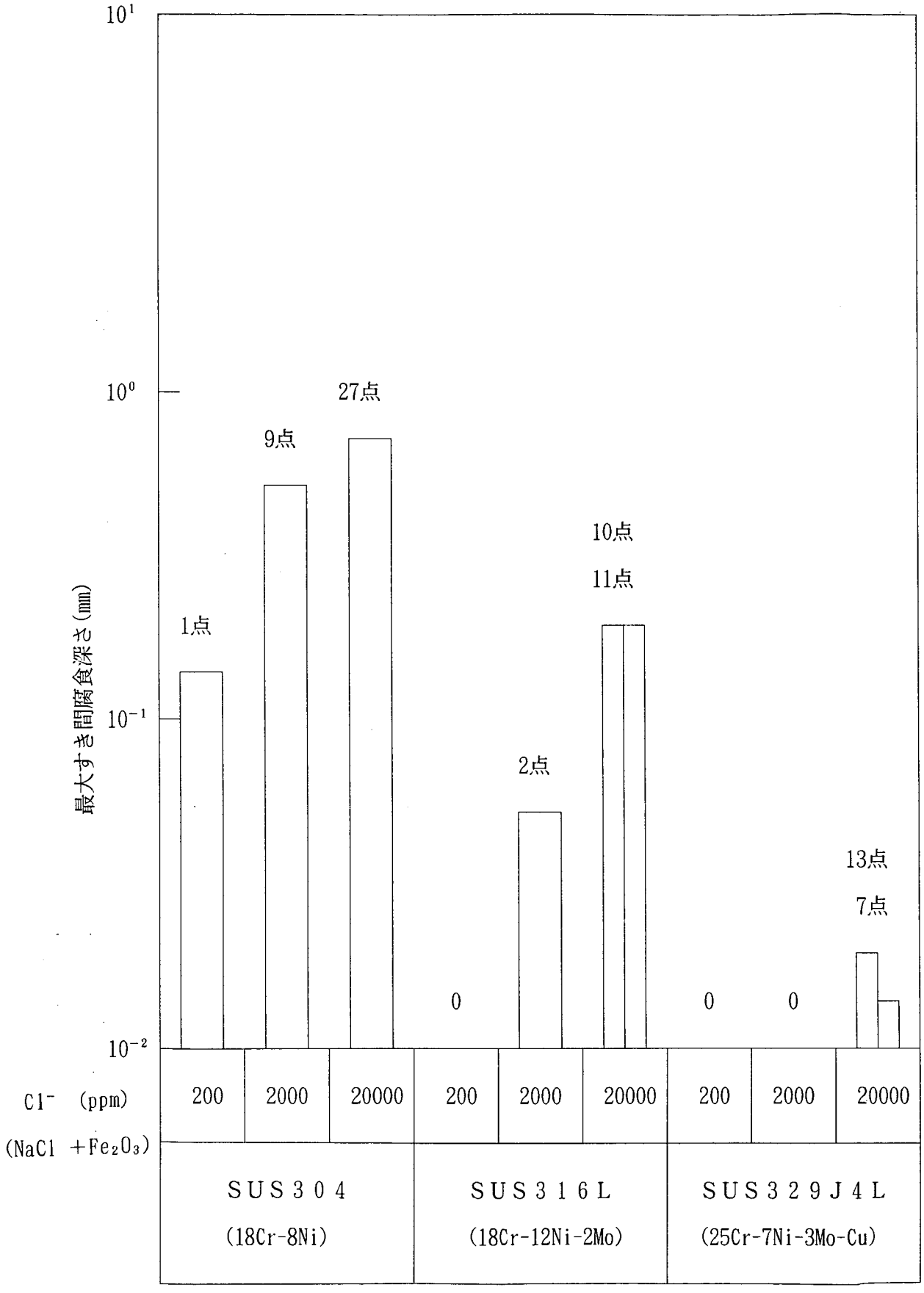


図1.3.3 すき間腐食試験結果（$Cl^-+Fe_2O_3$・50℃, 6カ月）

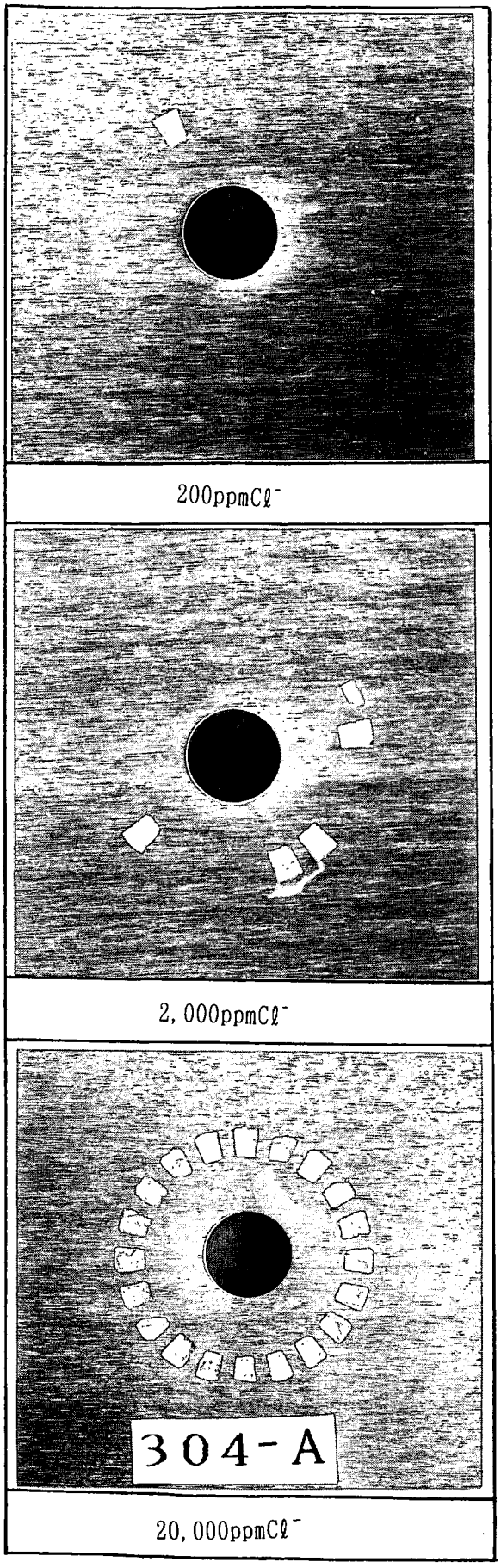


写真 1.3.1　$Fe_2O_3+Cℓ^-$ 溶液中でのＳＵＳ３０４のすき間腐食発生状況

〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕

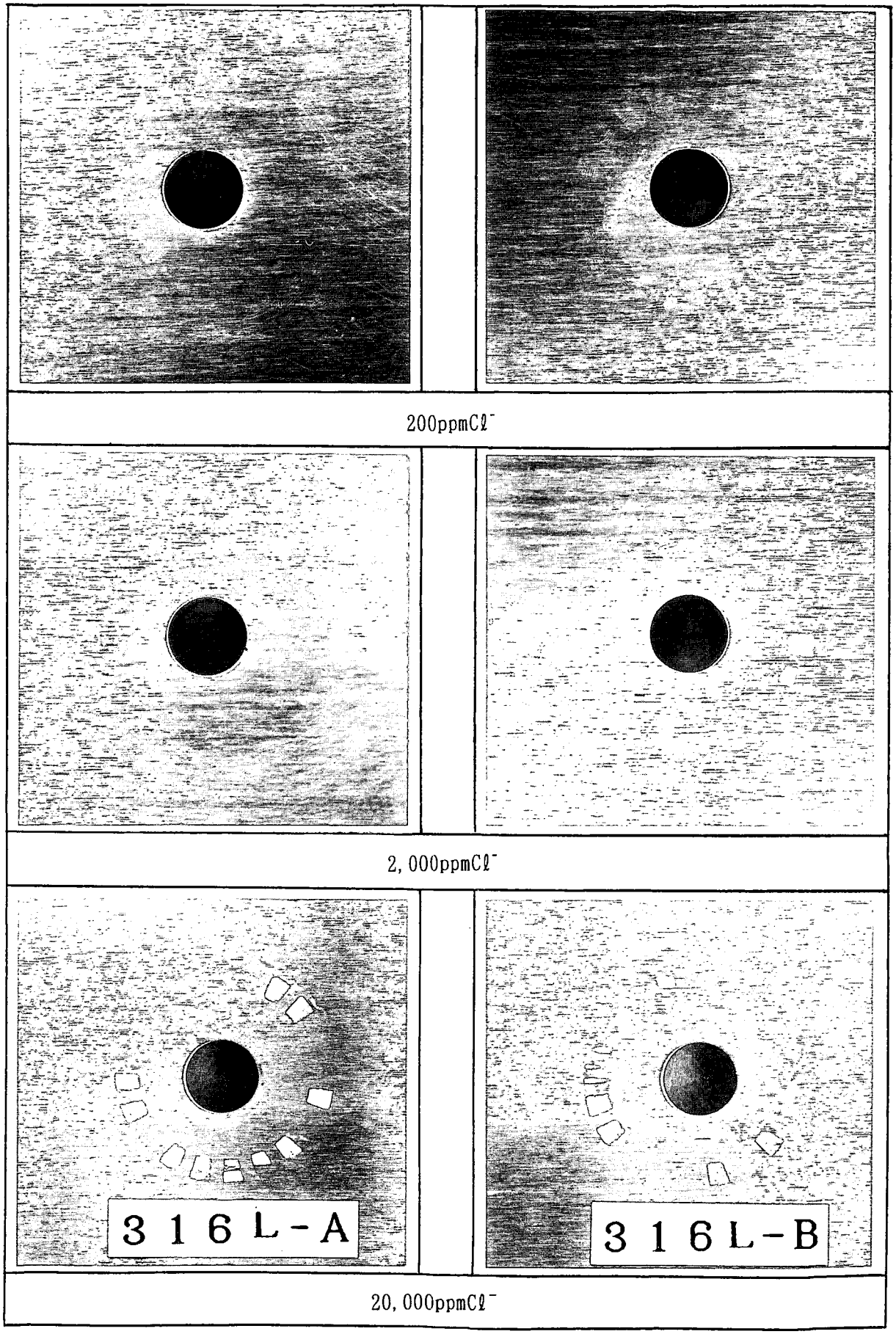


写真 1.3.2　Fe_2O_3＋$Cℓ^-$ 溶液中でのＳＵＳ３１６Ｌのすき間腐食発生状況

〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾟﾙﾀｲﾌﾟ〕

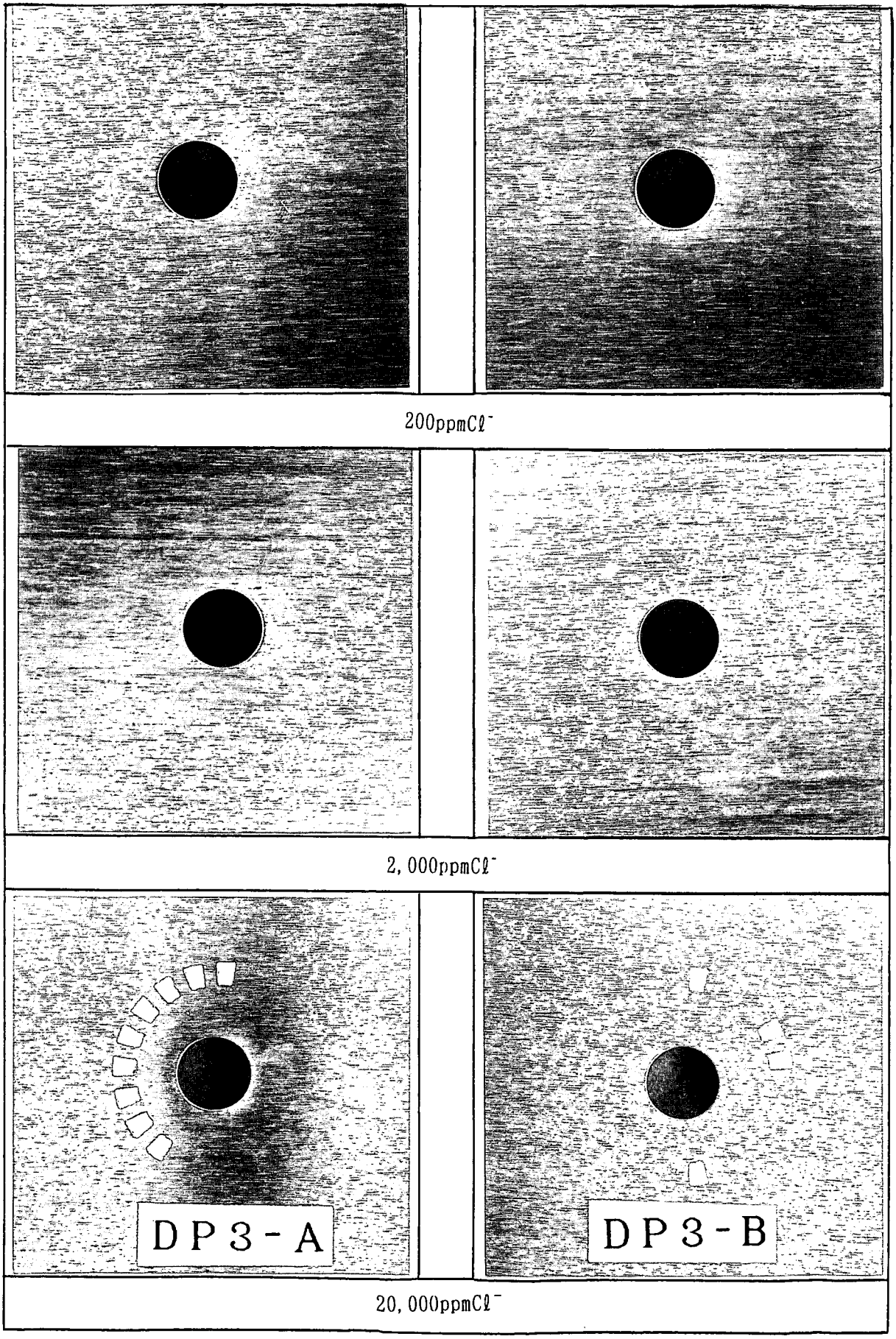


写真 1.3.3　$Fe_2O_3+Cℓ^-$ 溶液中でのＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌのすき間腐食発生状況

〔50℃，６ヶ月，ﾏﾙﾁﾌﾞﾙﾀｲﾌﾟ〕

１．４まとめ

１．４．１すき間腐食に及ぼす塩素イオン濃度および温度の影響

各種ステンレス鋼種のすき間腐食深さに及ぼすＣｒ＋３Ｍｏ量と塩素イオン濃度の関係を図 1.4.1～2 に示す。

耐すき間腐食性は、Ｃｒ＋３Ｍｏ量で整理でき、塩素イオン濃度が増加するとすき間腐食を防止できるＣｒ量も増大する。その結果を以下に示す。

Cl^- 濃　度 (ppm)	すき間腐食防止Ｃｒ＋３Ｍｏ量下限値	
	30℃	50℃
20	16.5	16.5
200	(18)*	18.8
2,000	32	32.5
20,000	34	34.5

* 推定値

１．４．２孔食感受性に及ぼすもらい錆の影響

SUS304の孔食感受性に及ぼすもらい錆の影響は、図1.4.3 に示すように微量の塩素イオンを含む環境下でγ-FeOOHや Fe_2O_3が存在すると孔食発生領域は低温側・低塩素イオン濃度(40ppm) へ移行することが明らかとなった。

１．４．３自然電位上昇の原因

図1.4.4 ～5 に示すように自然電位の上昇によって、不動態被膜が破壊されやすくなる。

Fe_2O_3が存在すると、図1.4.6 に示すように Fe_2O_3とFeとの混成電位になる。

Fe_2O_3が存在すると、図1.4.7 に示すようにカソード反応が促進される。

$$O_2 + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow 2H_2O$$

$$Fe_2O_3 + 6H^+ + 2e^- \longrightarrow 2Fe^{2+} + 3H_2O$$

$$E(V \text{ vs } SHE) = 0.686 - 0.0661 \log(Fe^{2+}) - 0.1983pH \quad \cdots (1)$$

たとえば、$Fe^{2+} = 2\times10^{-6}$mol/l, pH=6 を (1)式に代入すると、

$$E = -0.127(V \text{ vs } SHE) \quad (at \ 60℃)$$

1．4．4 Fe_2O_3およびγ-FeOOHのアニオン交換膜的性質

Fe_2O_3およびγ-FeOOHのアニオン交換膜的性質は、図1.4.8 に示すようにいずれもアニオン交換膜的な性質を示している。このため、もらい錆下では塩素イオンが濃縮されやすく、すき間腐食感受性を高めている。

以上の結果より、Fe_2O_3 およびγ-FeOOHなどがSUS304表面に堆積すると孔食感受性が高まることが明らかとなった。したがって、錆，鉄粉，溶接スパッターなどがSUS304表面に付着すると、もらい錆が付着した場合と同じ環境条件になるため、孔食感受性が高まると考えられる。すなわち、もらい錆によるすき間腐食を防ぐためには、SUS304表面にこれらの付着を防ぐか、付着物を完全に除去しなくてはならない。あるいは、SUS304より耐すき間腐食性，耐孔食性に優れたステンレス鋼種を選定することが望ましい。

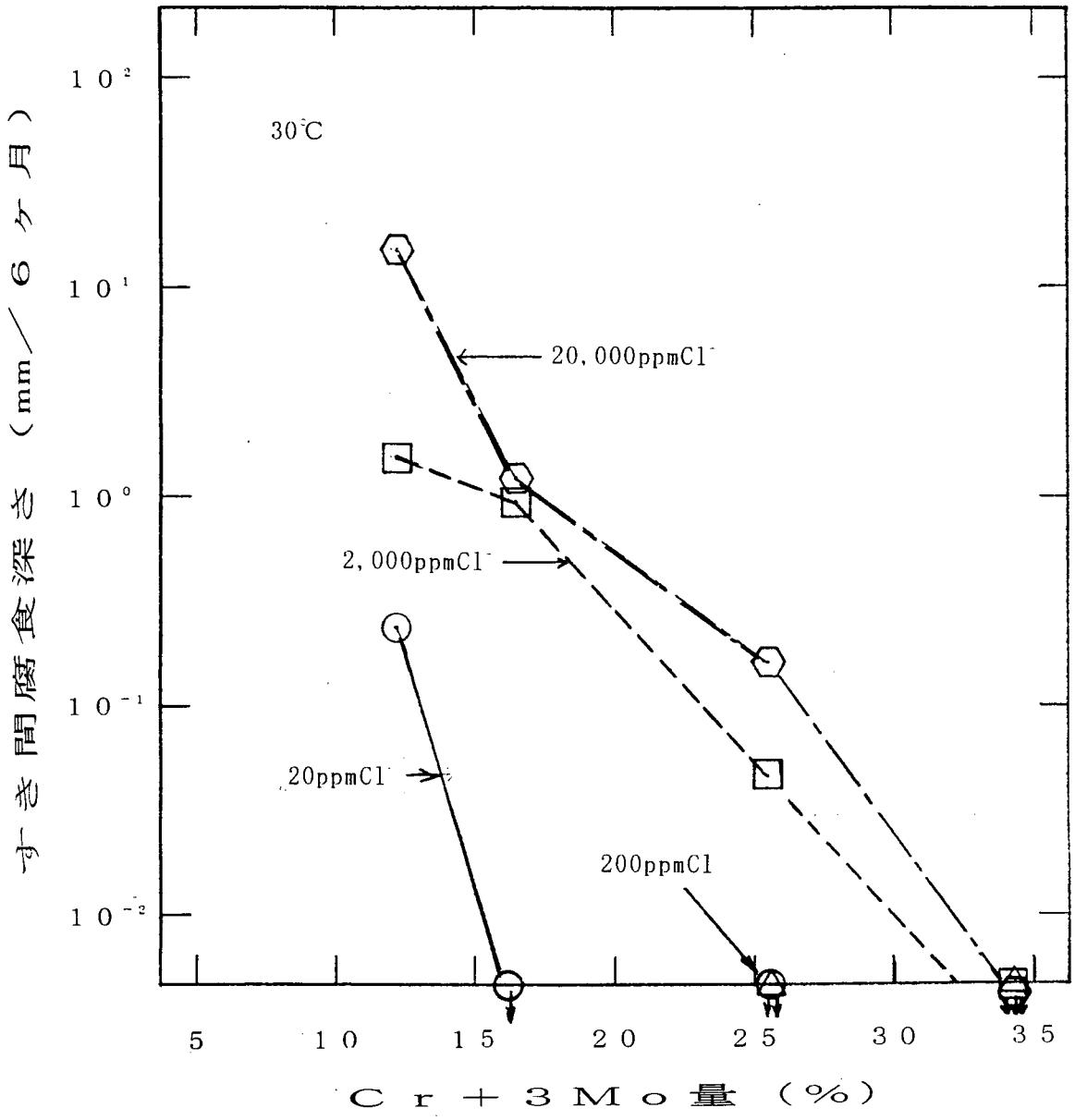


図 1.4.1　すき間腐食深さに及ぼすＣｒ量とＣｌ⁻濃度の影響
［３０℃,マルチプル］

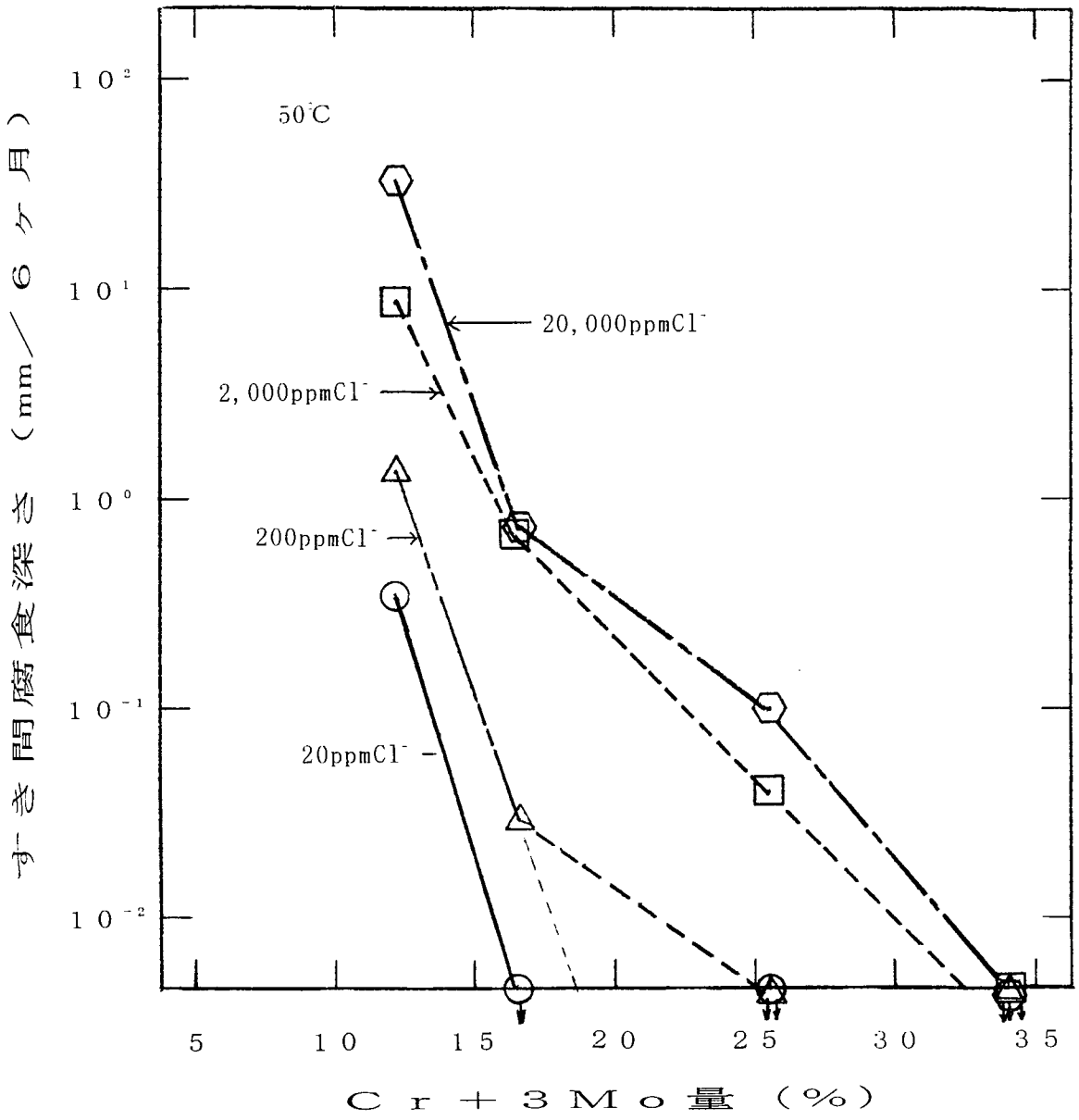


図 1.4.2　すき間腐食深さに及ぼすＣｒ量とＣｌ⁻濃度の影響
［５０℃,マルチプル］

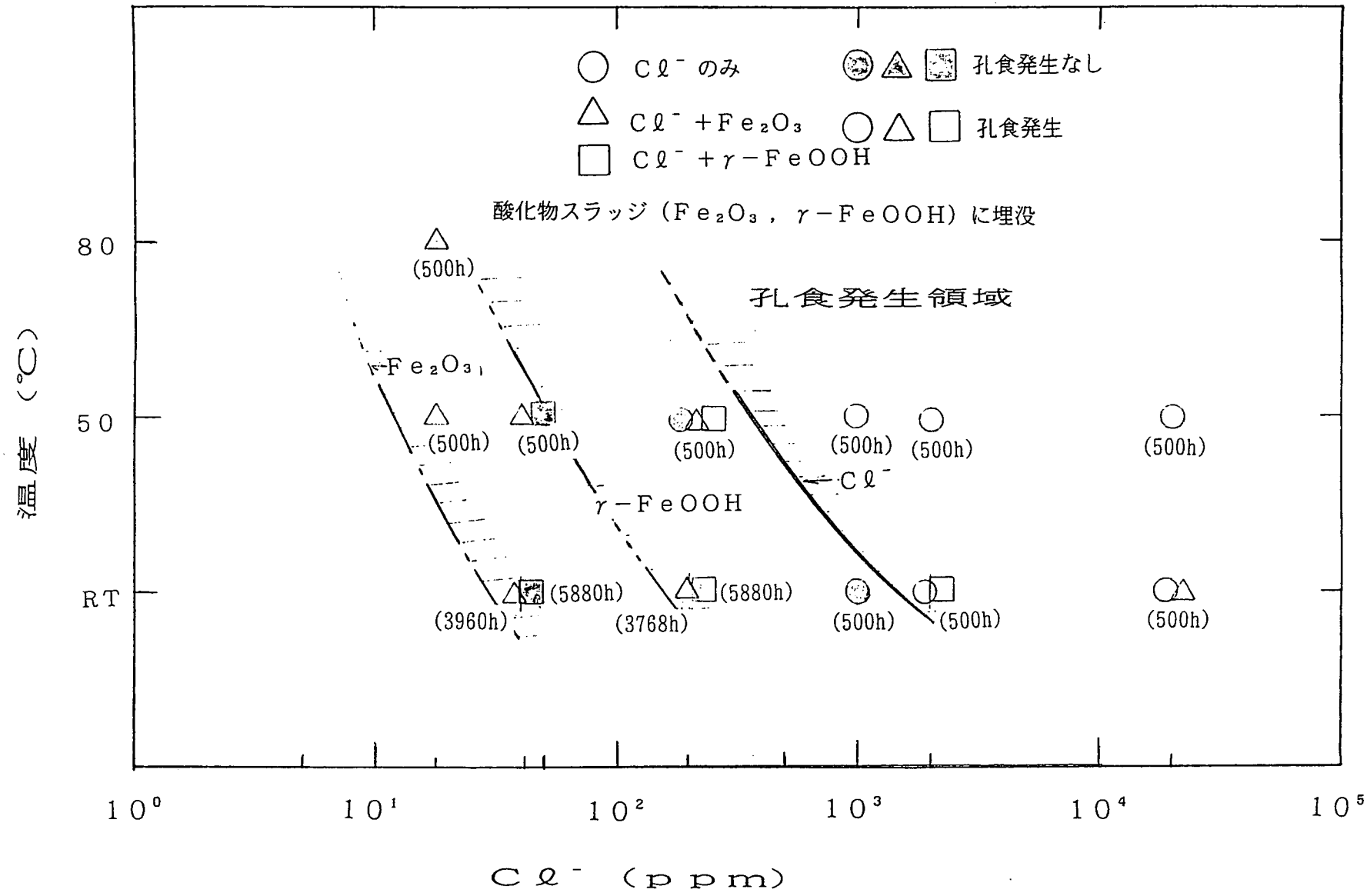


図1.4.3　ＳＵＳ３０４の孔食感受性に及ぼすもらい錆の影響

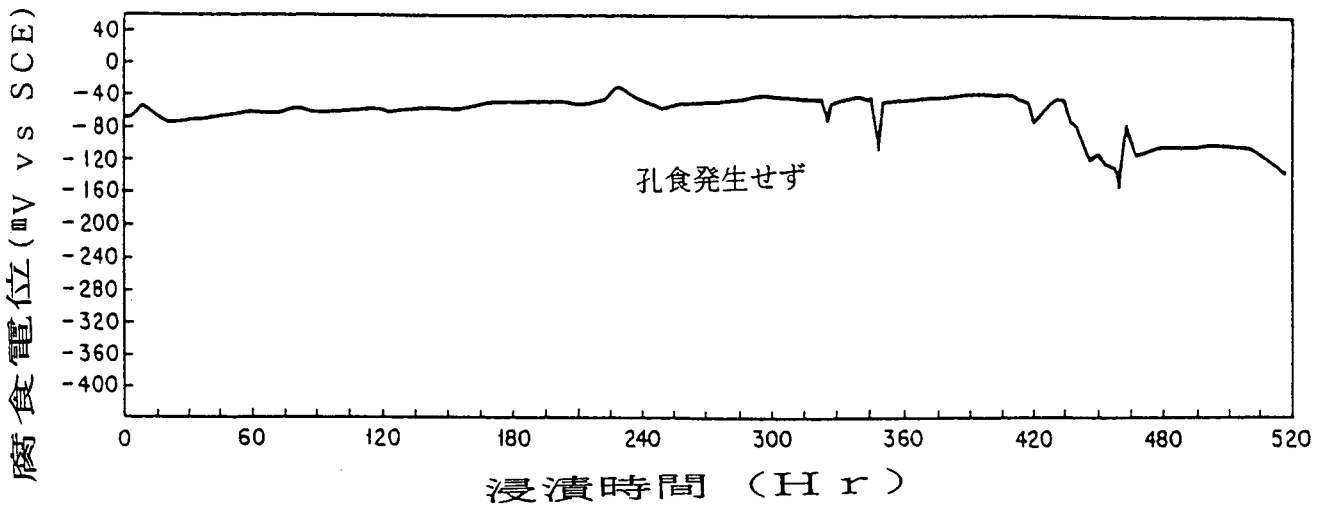


図1.4.4 ２００ｐｐｍＣℓ⁻単味溶液中でのＳＵＳ３０４の腐食電位の経時変化〔５０℃,２１日浸漬〕

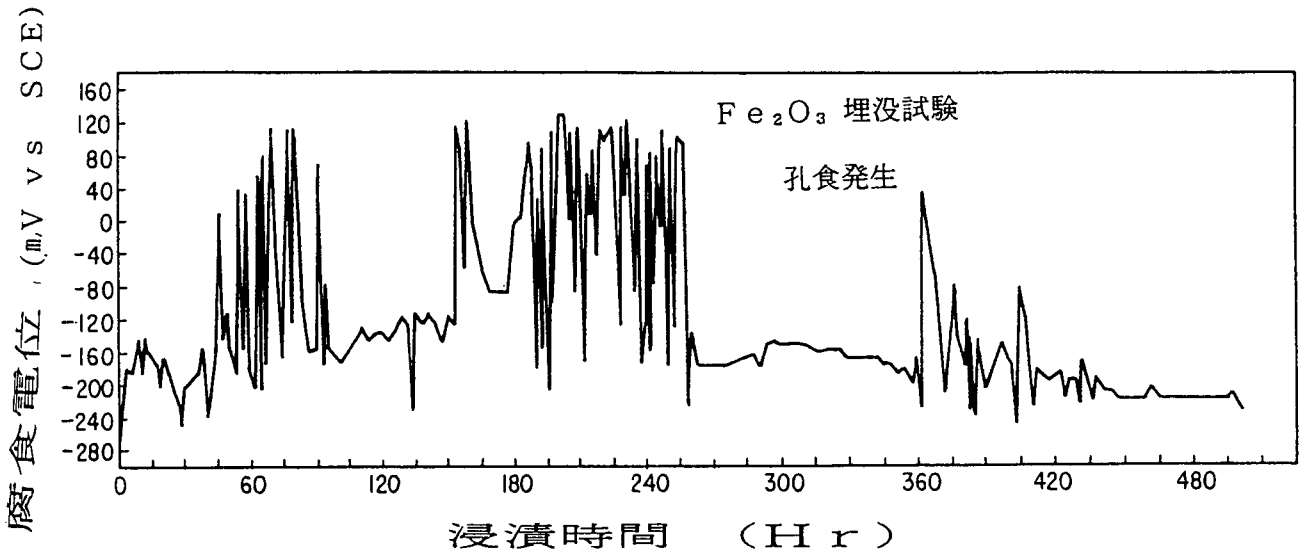


図1.4.5 Ｆｅ₂Ｏ₃に埋没したＳＵＳ３０４の腐食電位の経時変化〔２０００ｐｐｍＣℓ⁻＋２０ｇＦｅ₂Ｏ₃,５０℃,２１日浸漬〕

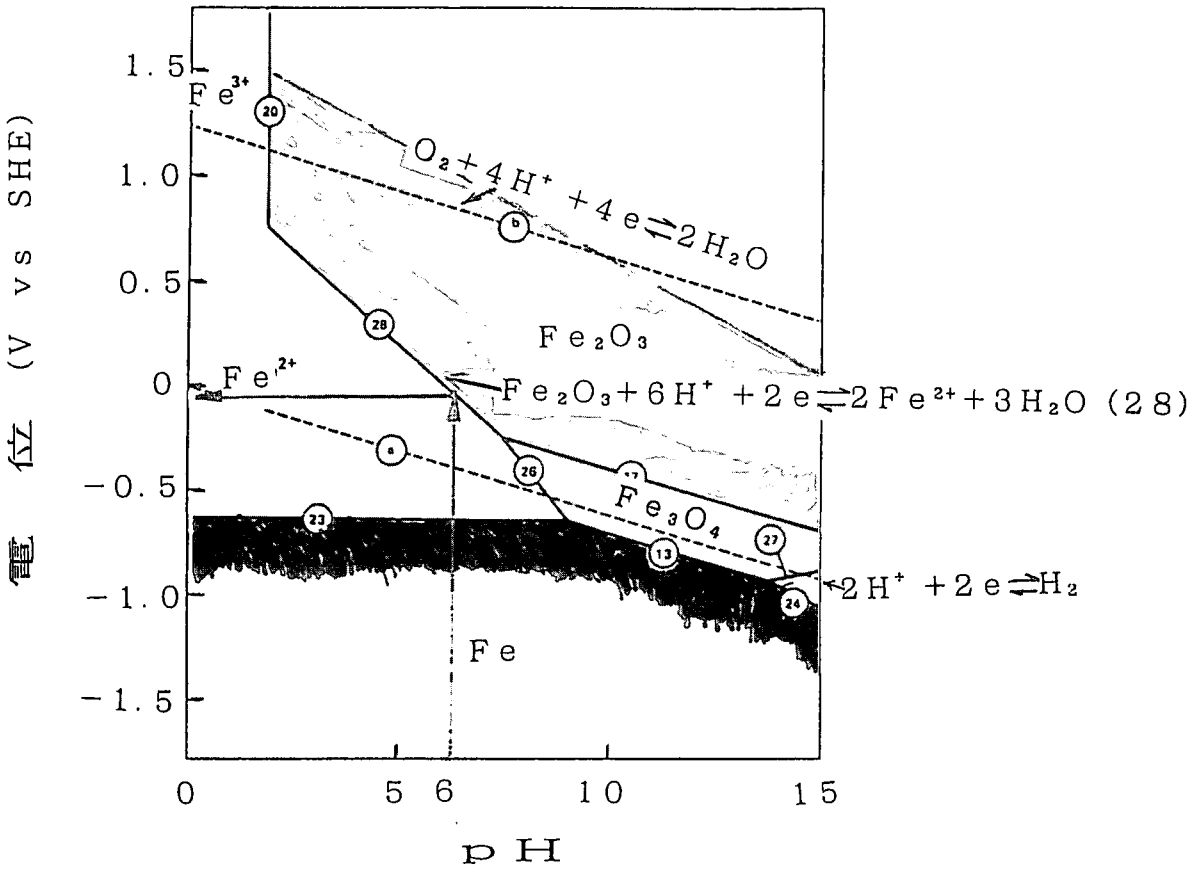


図 1.4.6　Fe－H₂O（60℃）

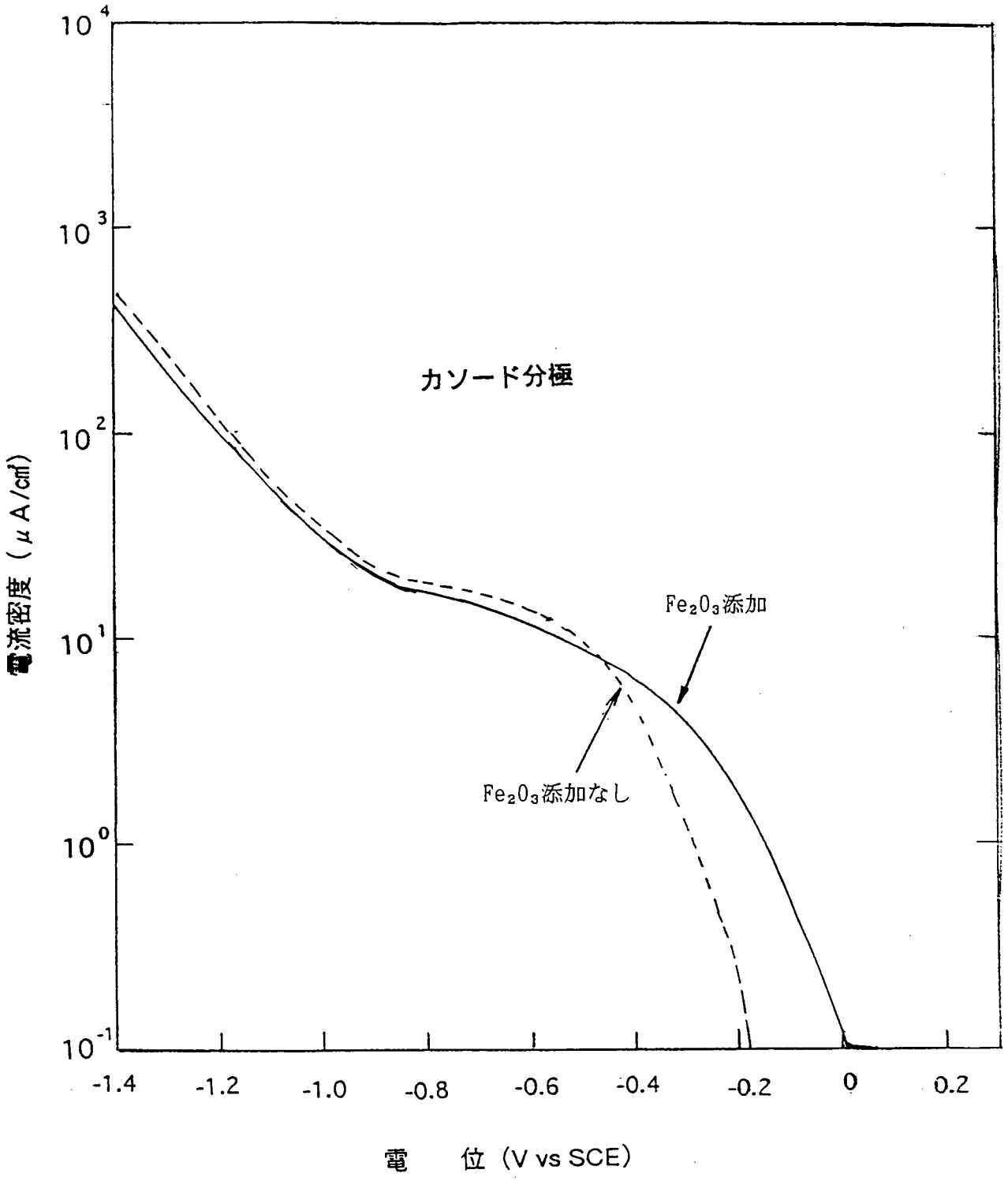


図 1.4.7　ＳＵＳ３０４のカソード分極曲線
〔 200ppmC ℓ +Fe_2O_3,非脱気,50 ℃,20mV/min 〕

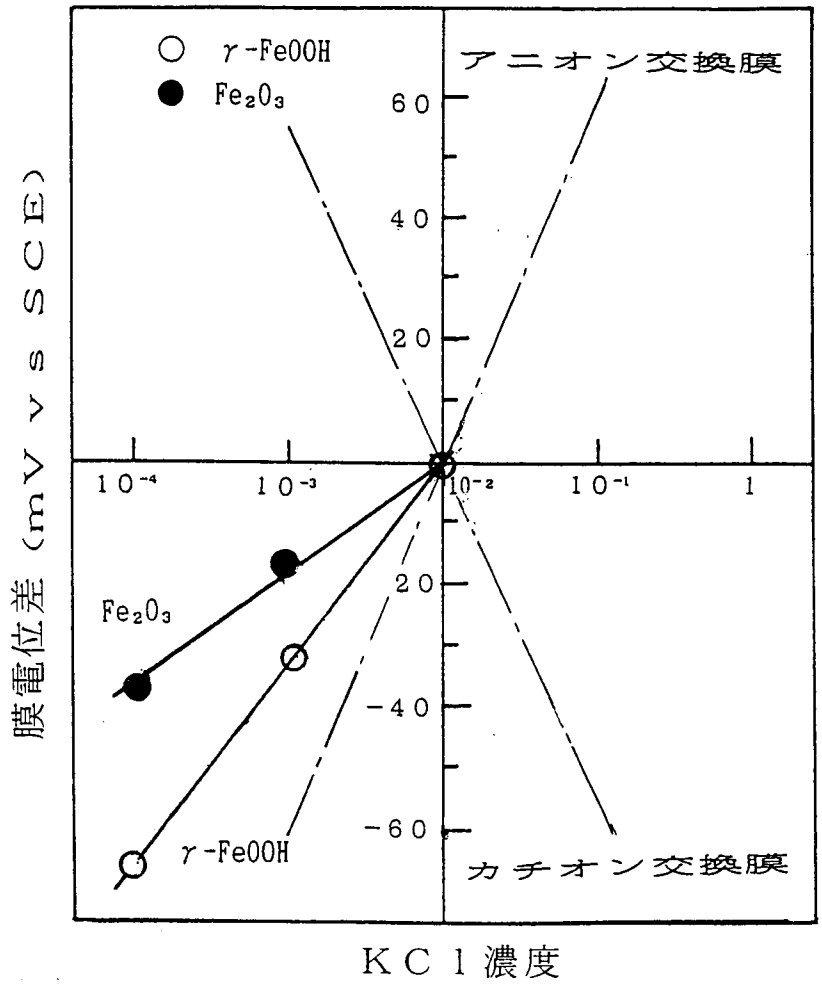


図 1.4.8　Fe_2O_3のアニオン交換膜的性質

２．七ヶ宿ダム湖における暴露試験

２．１試験概要

ダム環境におけるステンレス鋼と普通鋼との異種金属接触腐食およびステンレス鋼のすき間腐食現象を解明するために、七ヶ宿ダム湖に平成３年から１０年計画で暴露試験を行っている。土木研究所資料第３１６５号に暴露１年までの調査結果を報告している。本報告では、暴露２年および５年経過時並びに平成４年に開始した試験片の暴露１年および３年経過時の調査結果をとりまとめた。

２．２暴露試験環境

２．２．１暴露場所

七ヶ宿ダム湖は、阿武隈川水系白石川（宮城県刈田郡七ヶ宿町）に阿武隈川総合開発の一環として建設された中央コア型ロックフィルダムである。

２．２．２暴露試験調査計画

実環境におけるステンレス鋼と普通鋼との異種金属接触腐食およびステンレス鋼のすき間腐食現象を明らかにするため、七ヶ宿ダム湖に１０年間の予定で1991年10月に試験片の水中暴露（その１）を開始した。さらに耐食性の高い材料およびワイヤー用グリースの性能を明らかにするため、1993年11月に追加試験片の暴露（その２）を開始した。暴露試験の調査計画を表2.2.1に示す。

表2.2.1　七ヶ宿ダム湖における暴露試験調査計画

暴露場所 / 暴露年		七ヶ宿	
		ステンレス	
		その１	その２
H3年	1991	暴露開始 10月30日	
H4年	1992	１年目回収 10月29日	
H5年	1993	２年目回収 11月01日完	暴露開始 11月01日
H6年	1994		１年目回収 10月28日
H7年	1995		
H8年	1996	５年目回収 11月7-8日	３年目回収 11月7-8日
H9年	1997		
H10年	1998		
H11年	1999		
H12年	2000		
H13年	2001	１０年目回収 10月30日予定	
H14年	2002		
H15年	2003		１０年目回収 10月30日予定

２．２．３水質

七ヶ宿ダム湖における水質データは、東北地方建設局七ヶ宿ダム湖管理所の水質記録を整理した。これにより、以下のような傾向が明らかとなった。水質データを図2.2.1～2.2.5に示す。

(1)水　温：季節変化に伴いきれいな曲線を描いて変化している。冬季は２～３℃まで下がり、夏季には２０数度まで上がっている。

(2)ｐＨ：季節を通じて、ほぼ一定で約7.0である。

(3)溶存酸素：ほとんど５ｐｐｍ以上の値を示しているが、季節により若干変化している。

(4)ｸﾛﾛﾌｨﾙａ：夏季に高い傾向を示しているが２～７ｐｐｂである。

(5)全窒素：明らかに夏季に高い傾向を示している。

(6)全リン：夏季に高い傾向を示している。

(7)硝酸・亜硝酸：全窒素と同様の傾向を示している。

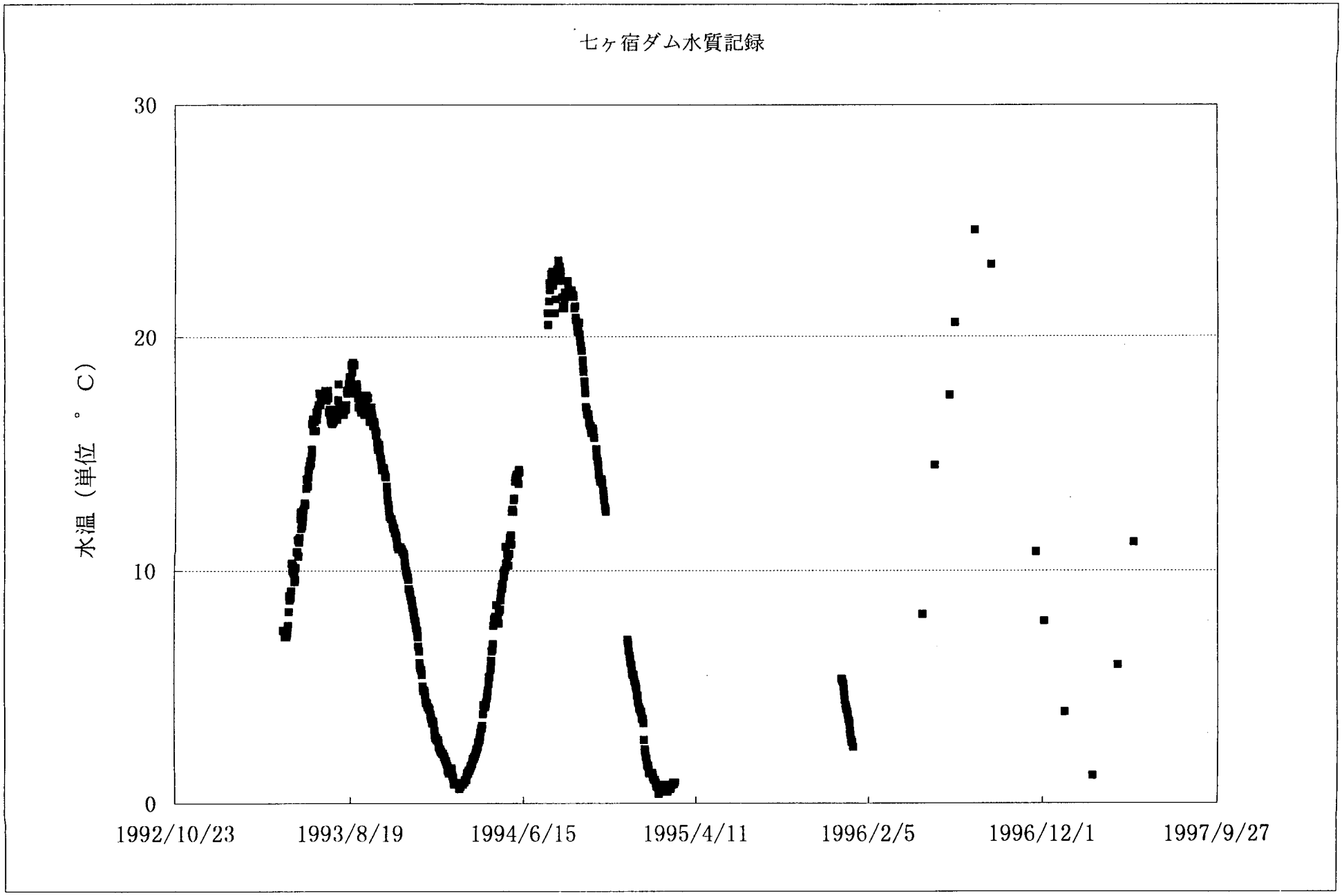


図 2.2.1　七ヶ宿ダム湖水の水温の変化

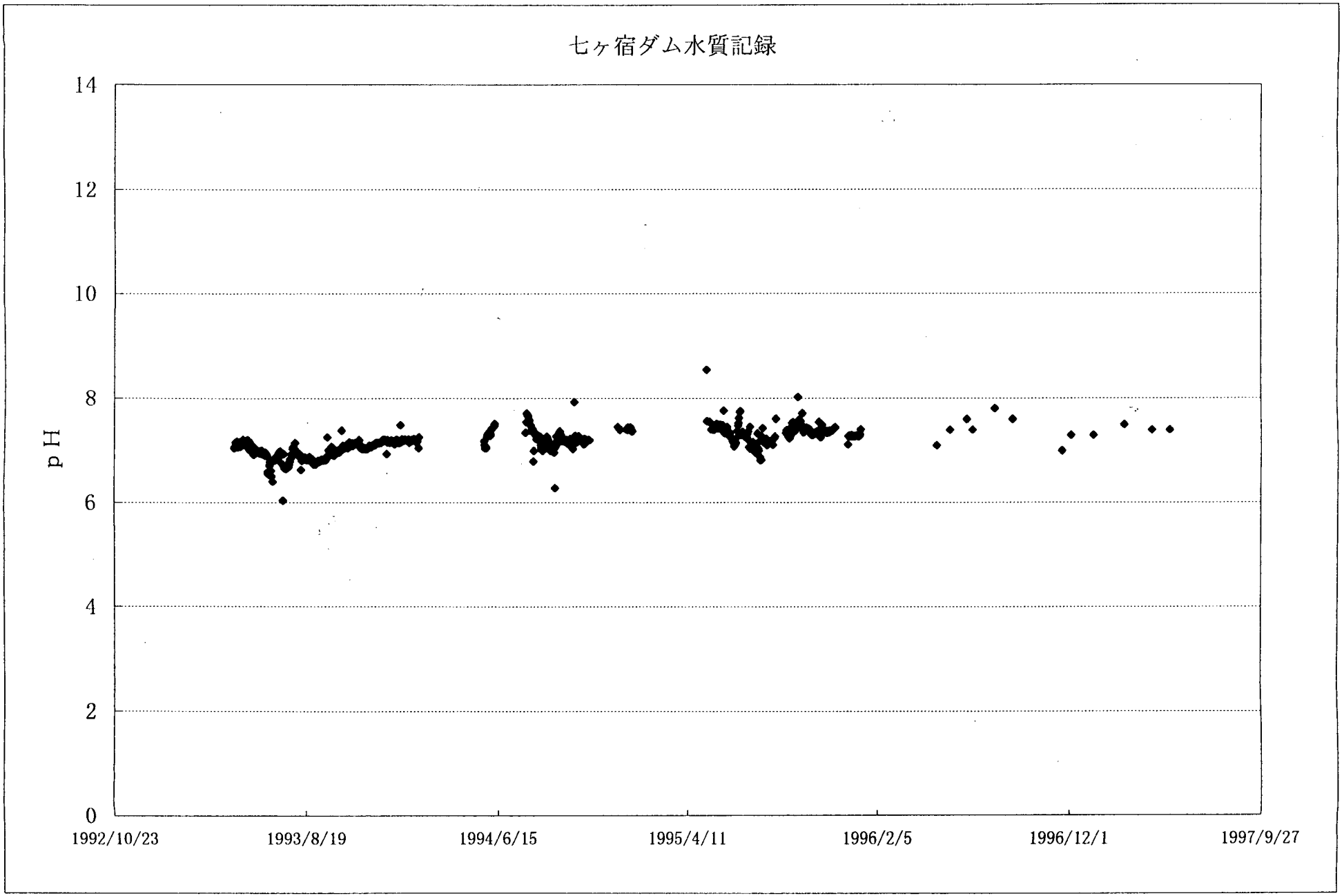


図 2.2.2　七ヶ宿ダム湖水のｐＨの変化

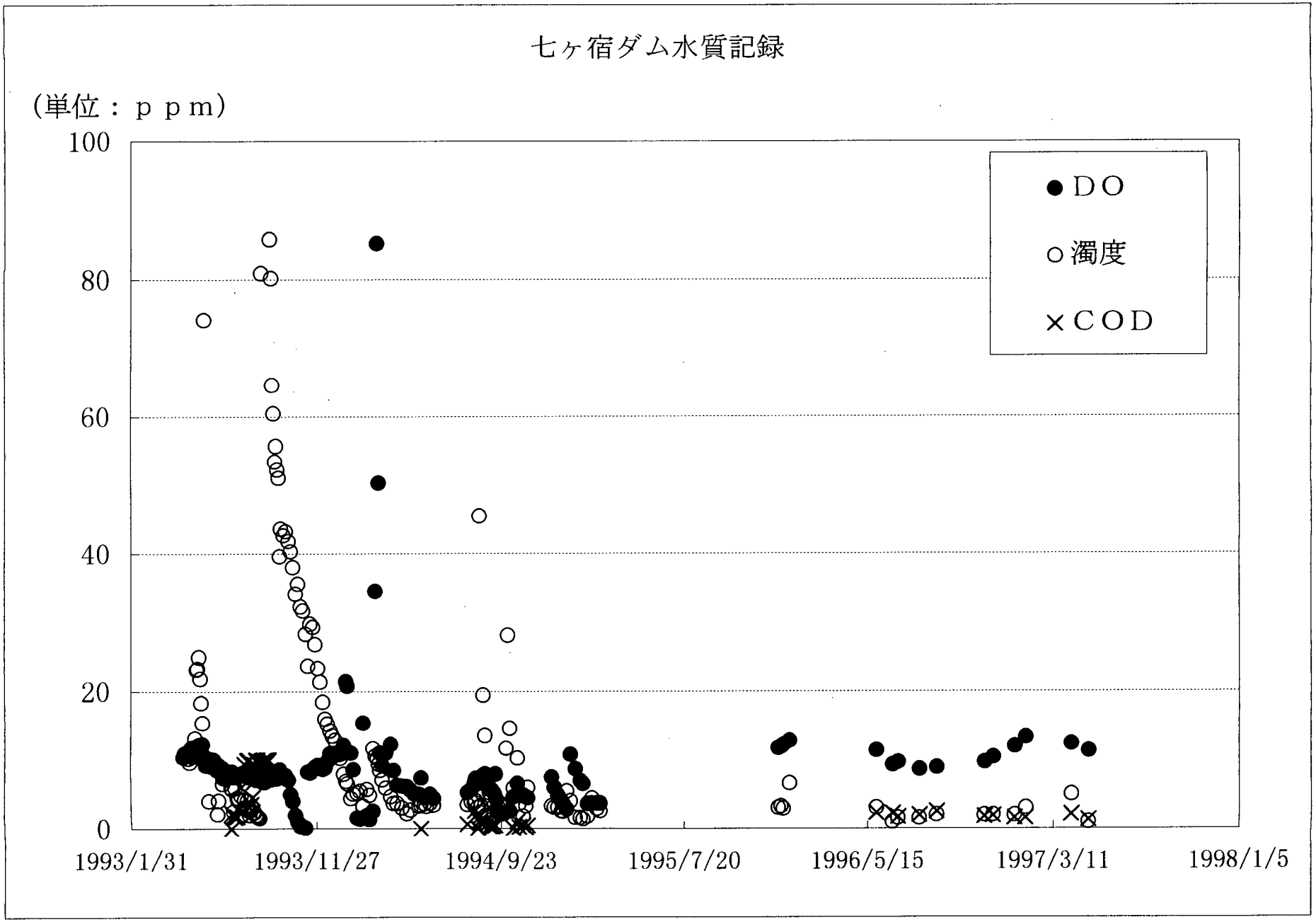


図 2.2.3　七ヶ宿ダム湖水の溶存酸素,COD および濁度の変化

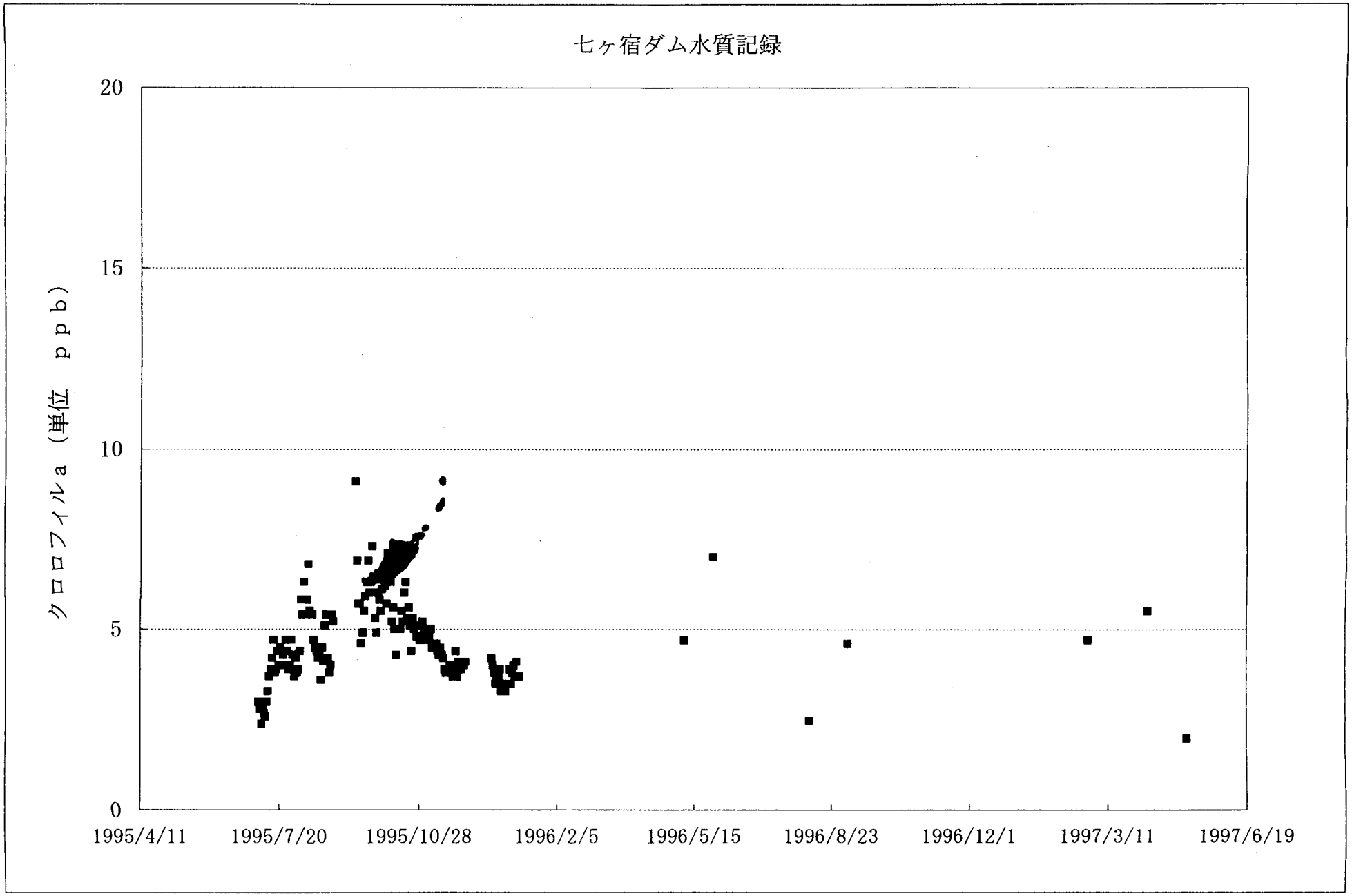


図 2.2.4　七ヶ宿ダム湖水クロロフィルの変化

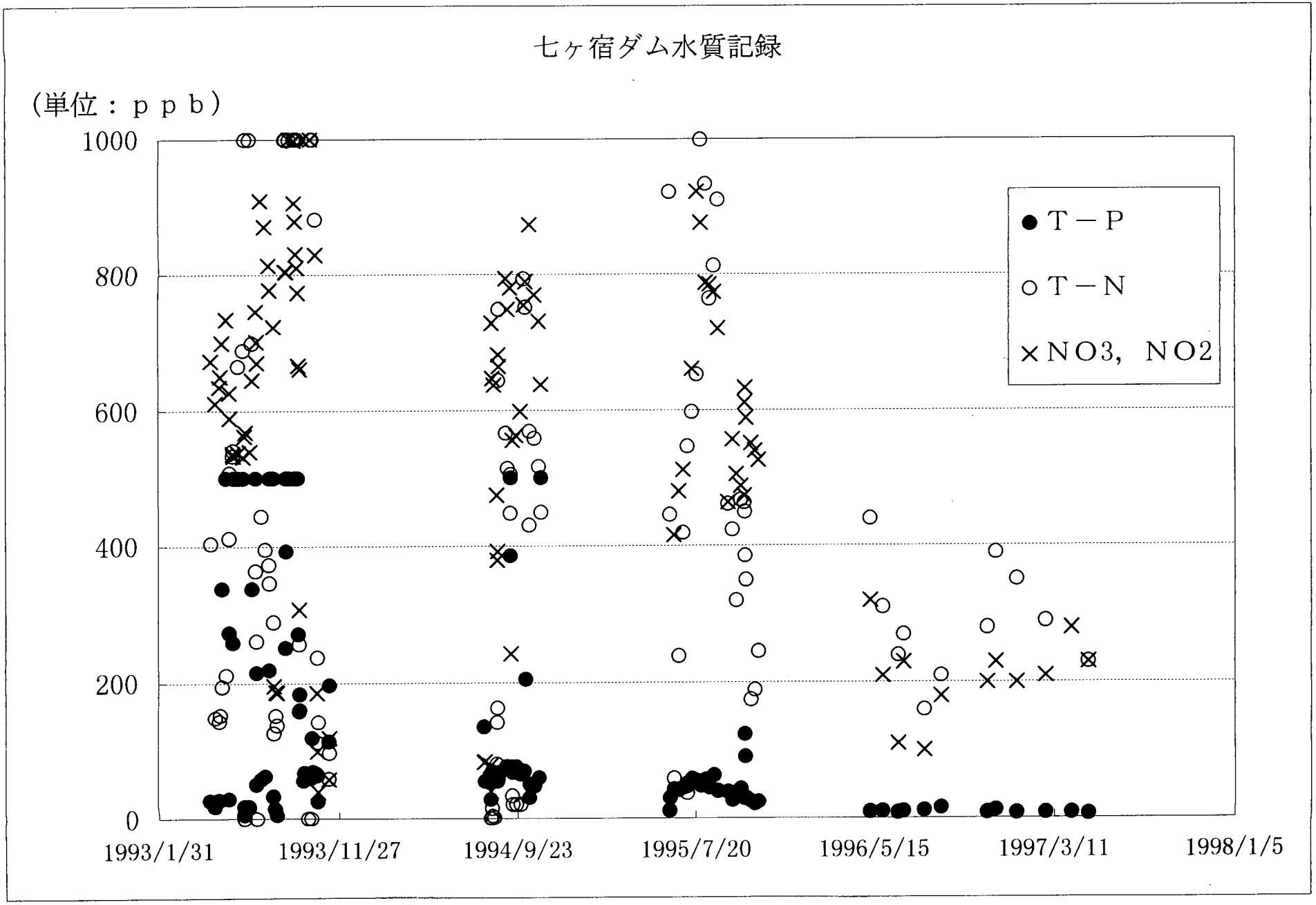


図 2.2.5　七ヶ宿ダム湖水の全リン,全Ｎおよび NO_3 (NO_2)の変化

２．２．４試験片の配置

七ヶ宿ダム湖の水中に設置されている１，２，５，１０年間暴露供試体の配置を図2.2.6に示す。

七ヶ宿ダム湖暴露（その１）

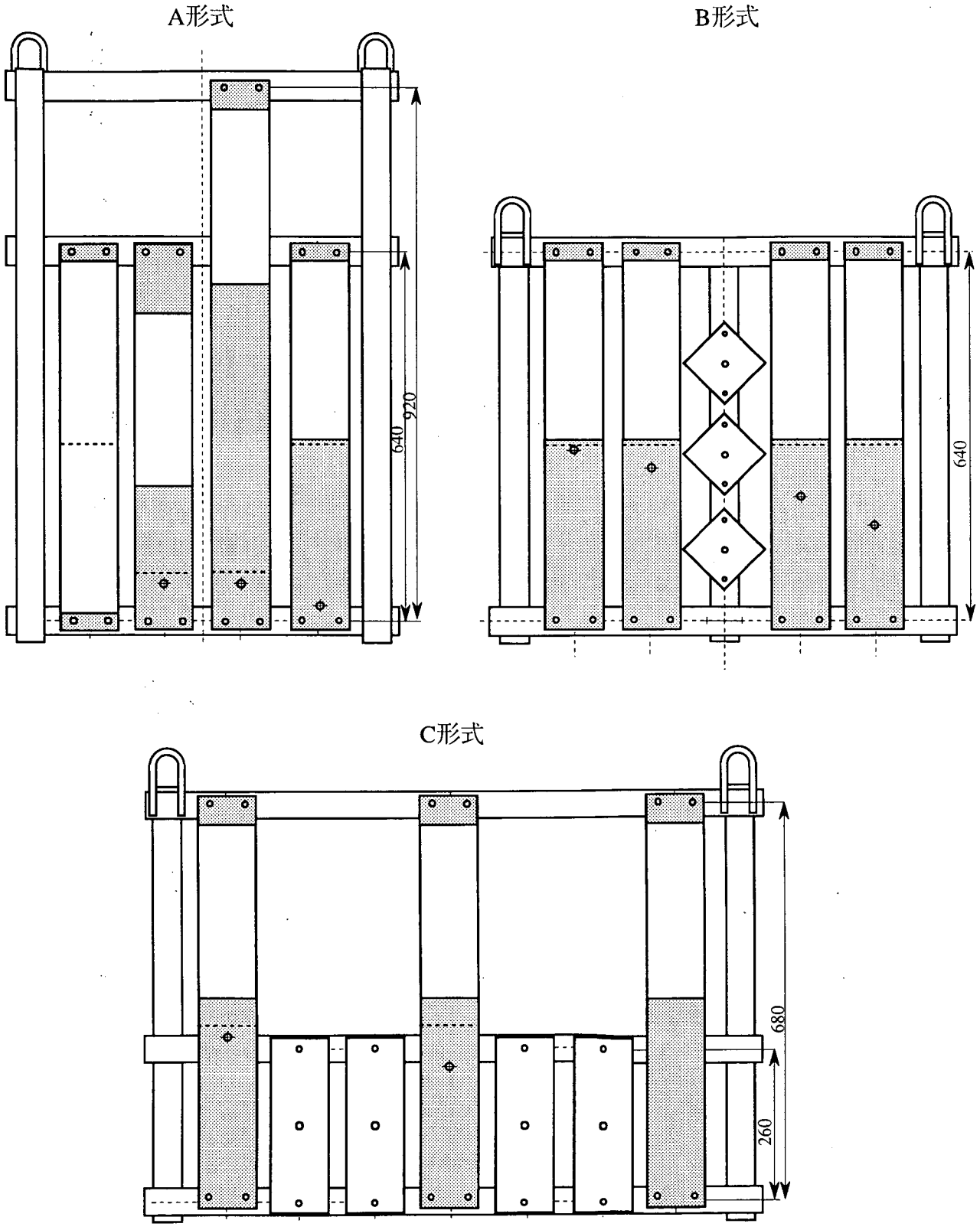


図2.2.6(1)　1年間暴露供試体配置

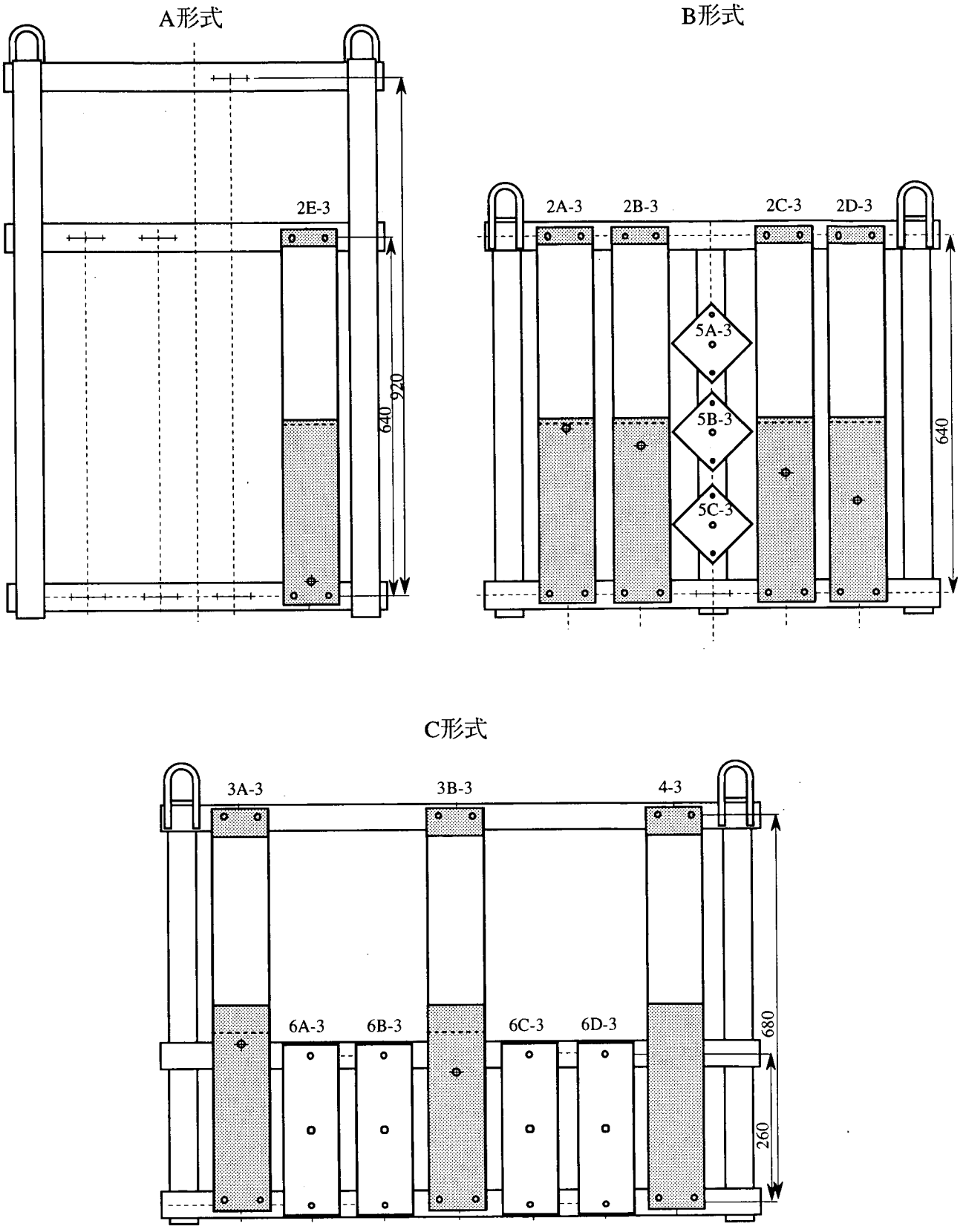


図2.2.6(2)　2年間暴露供試体配置

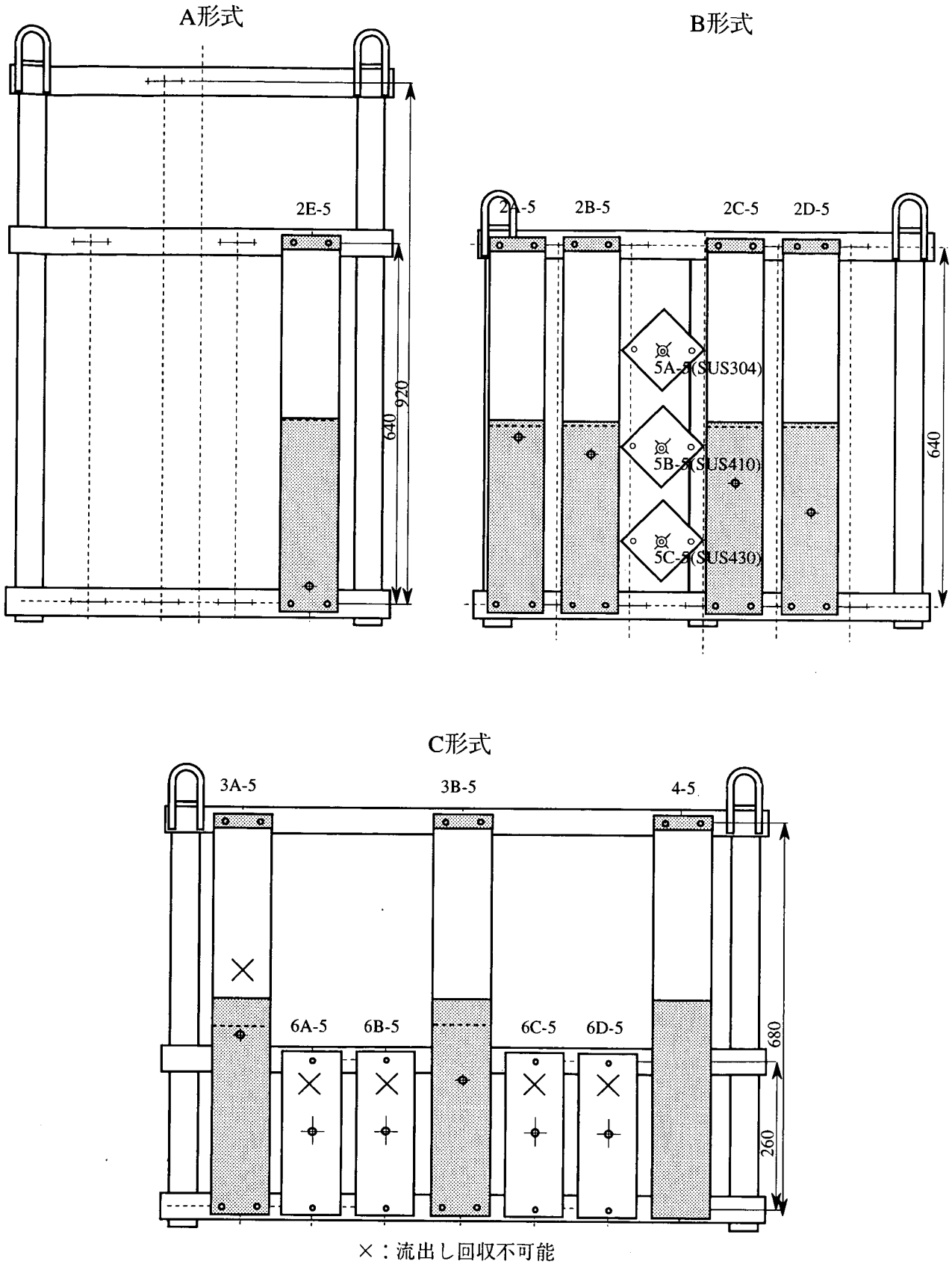


図2.2.6(3)　5年間暴露供試体配置

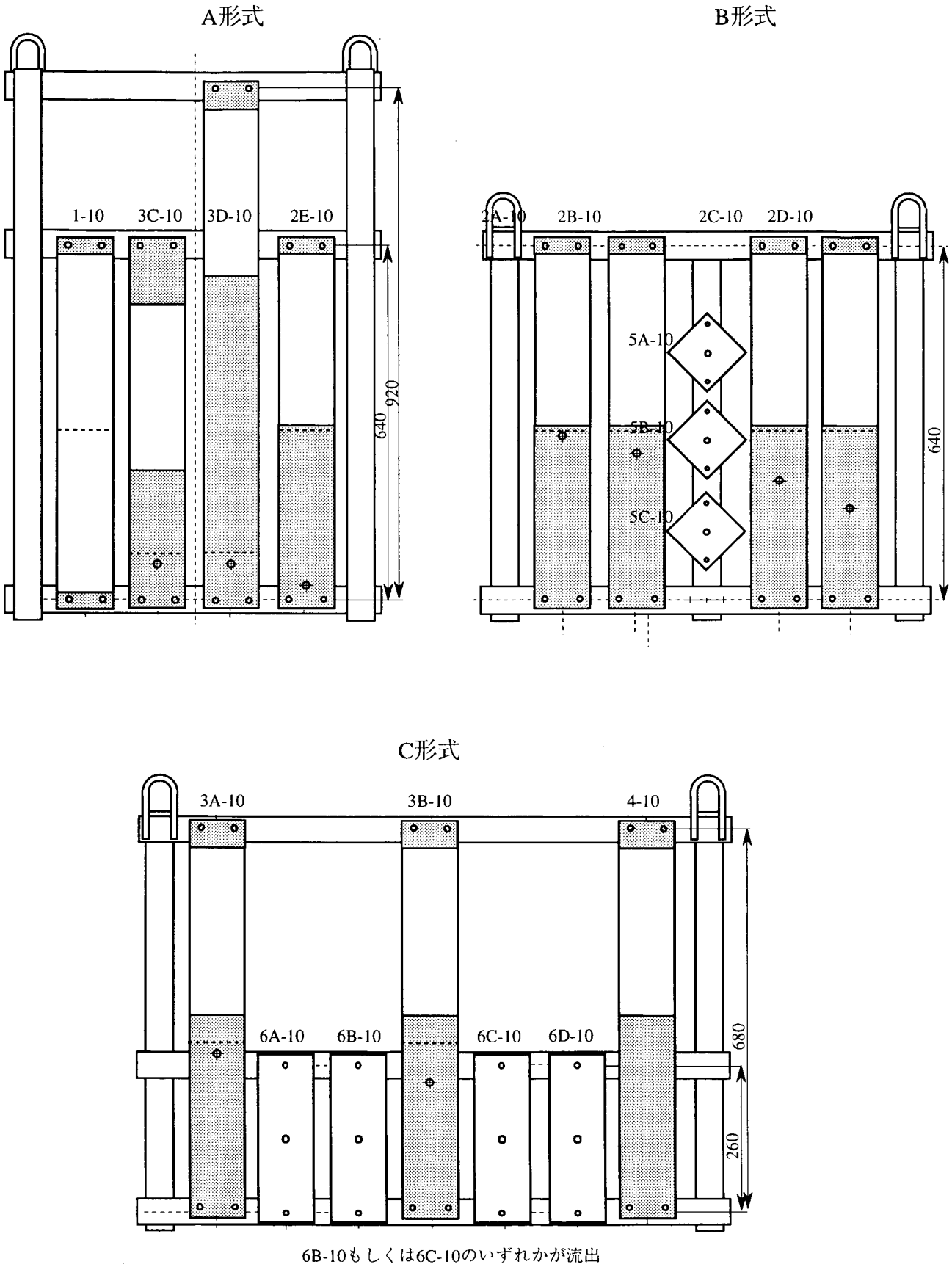


図2.2.6(4)　10年間暴露供試体配置

２．３異種金属接触腐食試験

２．３．１目的

ステンレス鋼と接合した普通鋼がどの程度腐食するか、その程度を明らかとするために種々の暴露試験を行った。試験片としては、1)異種金属接触腐食の基本特性を明らかとする目的の異種金属接合試験片，2)ステンレス鋼と異種金属接合した普通鋼の塗装部に欠陥があった場合、ステンレス鋼と塗膜欠陥までの距離の影響を明らかとする目的の塗膜欠陥試験片（普通鋼部塗装)，3)ステンレス鋼と普通鋼を異種金属接合した際、ステンレス鋼表面のある範囲までオーバーラップ塗装する、その場合普通鋼塗装部に欠陥があった場合、オーバーラップ塗装範囲の影響を明らかとする目的の塗装欠陥試験片（ステンレス鋼部塗装)，4)異種金属接合試験片の比較材としての普通鋼単独試験片の４種類を暴露した。

２．３．２試験条件

(1)供試材

SM400BおよびSUS304鋼の化学成分を表2.3.1に、機械的性質を表2.3.2に示す。

表2.3.1　供試材の化学成分　　（ｗｔ％）

鋼　種	C	Ｓｉ	Ｍｎ	P	S	Ｎｉ	Ｃｒ	板厚(mm)
SM400B	0.084	0.19	0.88	0.017	0.0056	0.013	0.019	'6
SUS304	0.049	0.49	0.85	0.033	0.0083	8.70	18.25	'6

表2.3.2　供試材の機械的性質

鋼　種	引　張　試　験			硬さ試験 HRB
	0.2%耐力 (kgf/mm^2)	引張強さ (kgf/mm^2)	伸　び (%)	
SM400B	31.7	42.4	42.4	72
SUS304	32.3	54.9	69.8	95

(2)試験片形状

試験片の形状および試験片番号を図2.3.1に示す。

1)異種金属接触腐食に関する暴露試験

①異種金属接合試験片

SUS304とSM400Bを溶接材料にD309を用いて溶接した試験片（面積比１：１）の余盛りを研削後、塗装部はサンドブラスト仕上げを行い、露出部は＃400番エメリー紙研磨仕上げを行った。

なお、塗装はタールエポキシ樹脂塗料を300μm塗装した。

②異種金属接合試験片（塗膜欠陥）

ステンレス鋼(SUS304)と異種金属接合した普通鋼(SM400B)の塗装部に欠陥があった場合の異種金属接触腐食に及ぼすステンレス鋼と塗膜欠陥までの距離の影響を明らかにするため、SUS304とSM40

0Bを異種金属接合した試験片の普通鋼表面を塗装し、面積 30mm²の普通鋼露出部（塗膜欠陥）を塗装境界からそれぞれ20,50,100,150,300mmの位置に一箇所ずつ作った。

③異種金属接合試験片（ステンレス鋼塗装）

ステンレス鋼と普通鋼を異種金属接合した際、ステンレス鋼表面のある範囲を塗装することにより、普通鋼塗装部に欠陥があった場合の異種金属接触腐食状況を明らかにするため、SUS304とSM400Bを異種金属接合した試験片（面積比 SUS304:SM400B = 1000:1）の普通鋼表面を塗装し、面積 30mm²の普通鋼露出部（塗膜欠陥）を接合部中心から20mmの位置に一箇所作った。

なお、ステンレス鋼側にも接合部中心からそれぞれ50,100,150,500mmの範囲まで塗装を行った。

④普通鋼単独試験片（比較材）

異種金属接合試験片の比較材として、無塗装部と塗装部とが同一面積となるSM400Bの試験片を作成した。

図2.3.1(1)　試験片形状

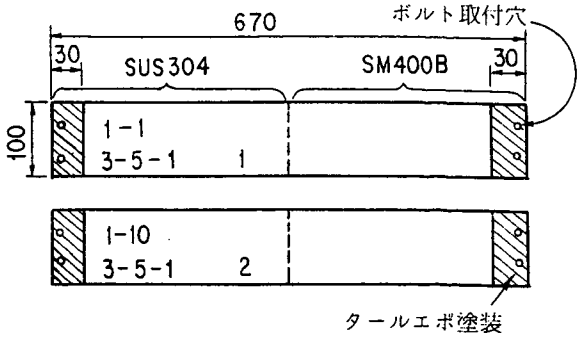
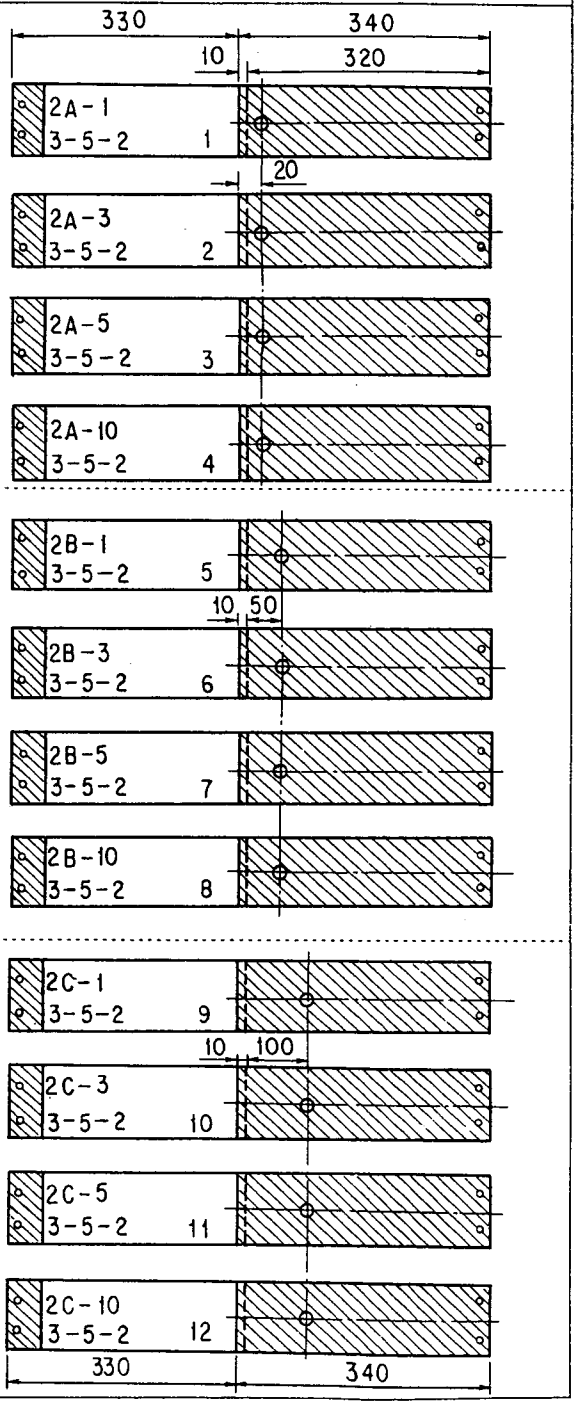
試験片の種類		暴露期間				試験片形状
		1Y	3Y	5Y	10Y	
1	異種金属接合試験	●			○	
2	異種金属接合試験（塗膜欠陥）	●	●	●	○	

図 2.3.1（2） 試験片形状

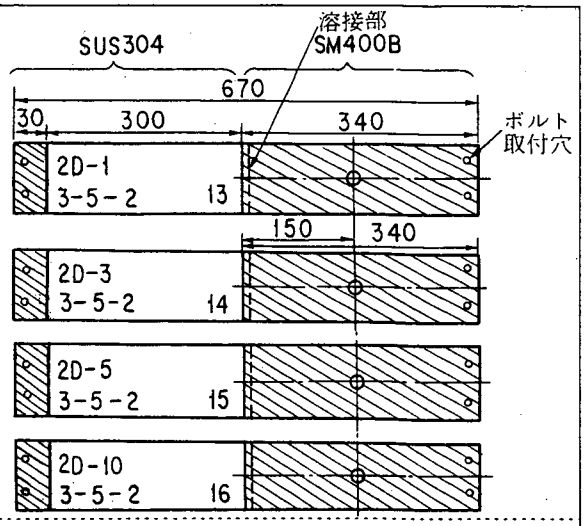
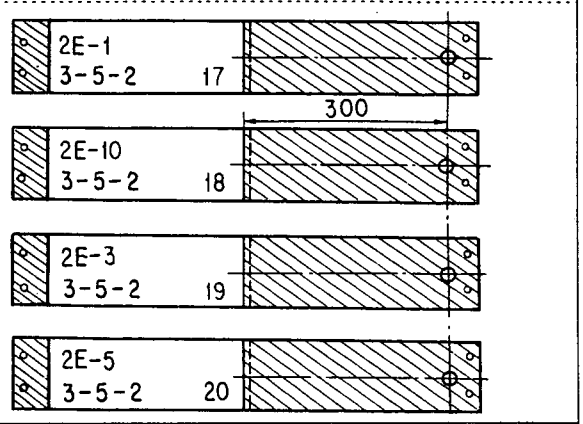
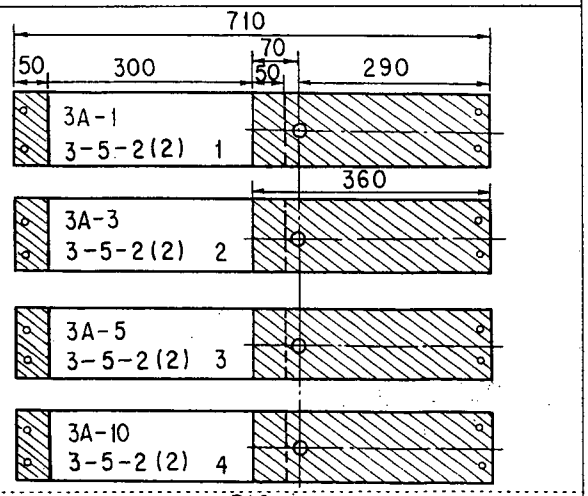
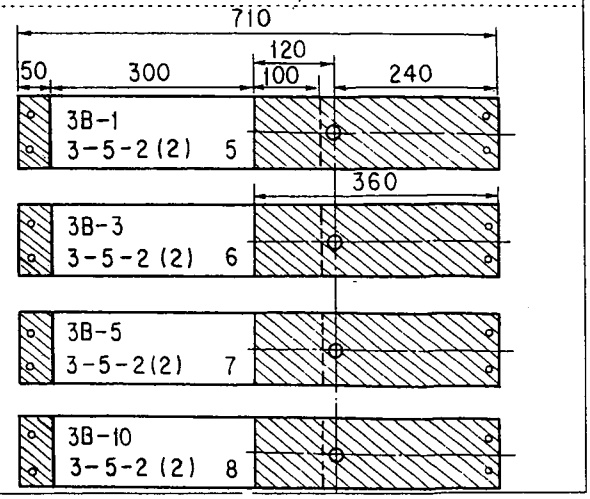
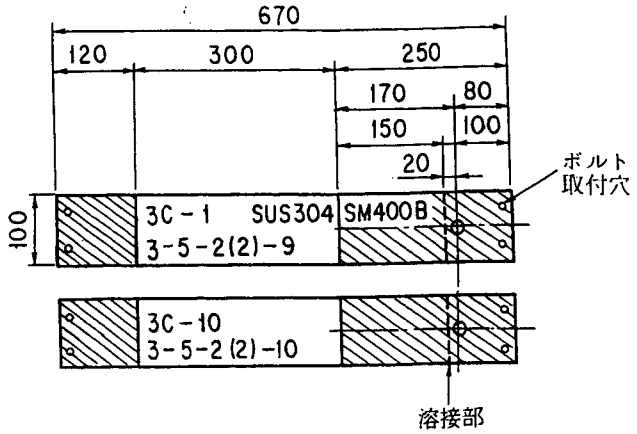
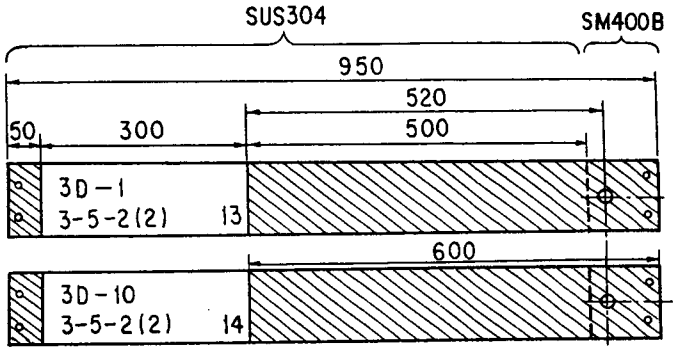
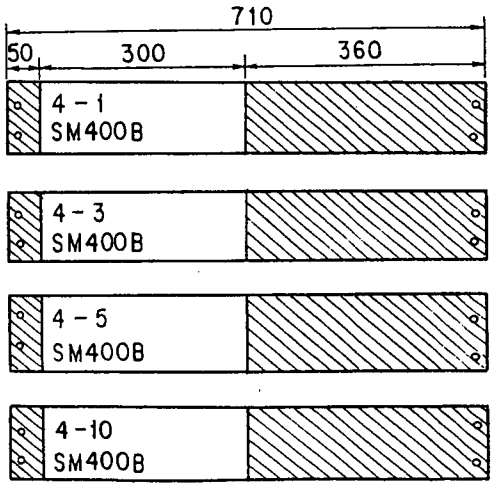
		1 Y	3 Y	5 Y	10 Y	
2	異種金属接合試験（塗膜欠陥）	●	●	●	○	
		●	●	●	○	
3	異種金属接合試験（ステンレス鋼塗装）	●	●	●	○	
		●	●	●	○	

図 2.3.1 (3)　試 験 片 形 状

		1Y	3Y	5Y	10Y	
3	異種金属接合試験 (ステンレス鋼塗装)	●			○	
		●			○	
4	普通鋼単独試験片 (比較材)	●	●	●	○	

2．3．3調査項目

試験片回収後の調査項目を表2.3.3 に示す。試験片の回収直後の外観状況観察、もらい錆の有無および自然電位測定などの電気化学特性の調査を行った。また、水質調査を行った。

表2.3.3　調査項目

		①異種金属接合試験片	②異種金属接合試験片（溶接欠陥）	③異種金属接合試験片（ｽﾃﾝﾚｽ鋼塗装）	④普通鋼単独試験片
材料	現　場	回収直後の外観観察、写真撮影 普通鋼の腐食状況、ステンレス鋼表面の錆の付着状況			
	実験室	付着物除去後の外観観察、写真撮影 普通鋼の腐食状況、ステンレス鋼表面のもらい錆の有無			
		断面観察、写真撮影 腐食深さと溶接部からの距離の関係	断面観察、写真撮影 腐食深さと溶接欠陥距離の関係	断面観察、写真撮影 腐食深さと表面塗装範囲の関係	断面観察、写真撮影 腐食深さ
環境	現　場	a)水　質　分　析：水温、溶存酸素、pH、電気伝導度、Cl^- b)電　位　測　定			
	実験室	a)水質分析：pH、Cl^-、SO_4^{2-}、Na^+、Ca^{2+} Mg^{2+}、溶存酸素、電気伝導度			

2．3．4調査結果

(1)水質現地調査結果

七ヶ宿ダム湖において測定した水質調査結果を表2.3.4 に、湖水を採取して実験室に持ち帰り水質分析をした結果を表2.3.5 に示す。

表2.3.4　現地水質調査結果

項目＼水深(m)		0.0	1.5	3.5	5.5	7.5	9.5
水温(℃)	1年目(H4.10.29) 2年目(H5.10. 1) 5年目(H8. 9. 8)	16.7 12.4 13.4	15.1 12.5	16.0 12.4	16.0 12.4	15.8 12.4	16.1 12.4
溶存酸素(mg/l)	1年目 2年目 5年目	10.1 9.7 ※9.0	9.7 9.4	9.4 9.2	9.3 9.4	8.7 9.4	8.8 9.4
pH	1年目 2年目 5年目	7.22 7.78 7.96	7.38 7.68	7.39 7.61	7.41 7.54	7.45 7.47	7.42 7.42
電導度(μS/cm)	1年目 2年目 5年目	— 69 106.5	65 77	74 88	83 104	89 115	96 140
塩素ｲｵﾝ(mg/l)	1年目 2年目 5年目	4.0 — ※5.6	3.0 —	3.0 —	3.0 —	3.0 —	3.0 —

※持ち帰って実験室にて測定

表2.3.5　水質分析結果(実験室測定)

項　　目		測定値	測定法
pH	1年目(H4.10.29) 2年目(H5.10. 1) 5年目(H8. 9. 8)	6.6 6.9	環境庁告示64号
Cl^- (mg/l)	1年目 2年目 5年目	1.54 5.6	上水試験法
SO_4^{2-} (mg/l)	1年目 2年目 5年目	9.9	JIS K0101
Na^+ (mg/l)	1年目 2年目 5年目	5.5	JIS K0101
Ca^{2+} (mg/l)	1年目 2年目 5年目	8.1	上水試験法
Mg^{2+} (mg/l)	1年目 2年目 5年目	1.5	JIS K0101
溶存酸素 (mg/l)	1年目 2年目 5年目	7.2 9.0	環境庁告示64号
電気伝導度 (μS/m)	1年目 2年目 5年目	80 69	JIS K0101

(2)外観観察

2年間および5年間暴露試験の異種金属接触腐食試験片（塗装欠陥）の外観状況を写真2.3.1に、異種金属接触腐食試験片（ステンレス鋼塗装）の外観状況を写真2.3.2に示す。

1年間と5年間暴露したステンレス鋼表面では緑の藻が生息していたが、2年間暴露試験ではいずれの試験片にも黄土色の付着物が付いていた。塗装欠陥部(SM400B)には、一様に赤茶色の錆が欠陥部に詰まっていた。また、5年間暴露試験片塗装部およびステンレス鋼部には多数のすり傷があり、例えば試験片 2E-5,3B-5 ではエッジ塗装部に錆が発生していた。

異種金属
接合試験片

（塗膜欠陥）

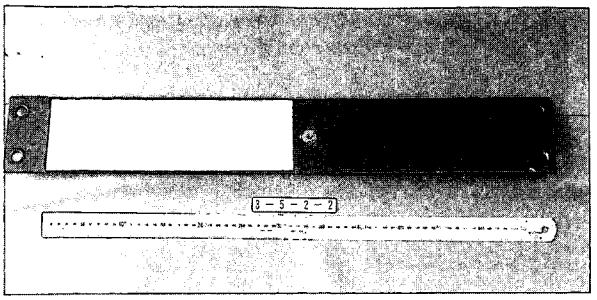
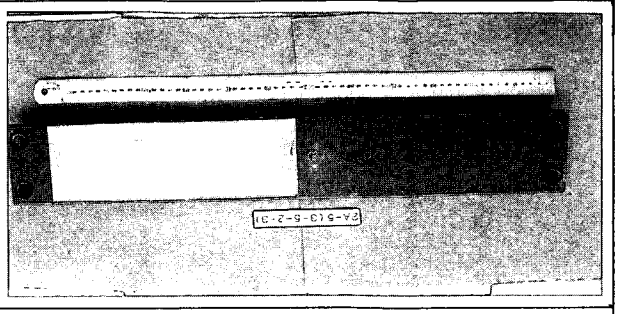
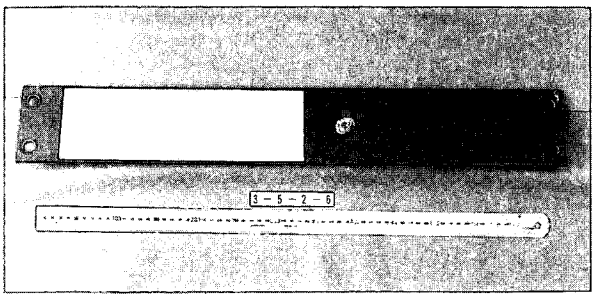
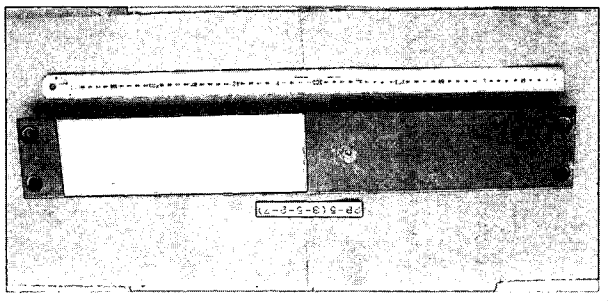
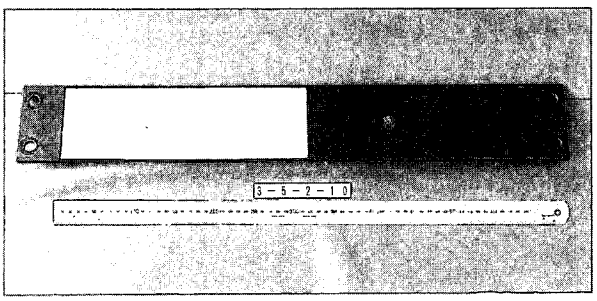
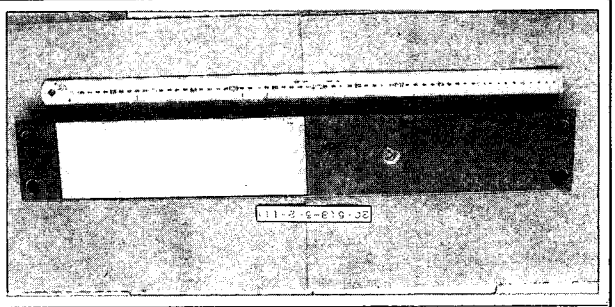
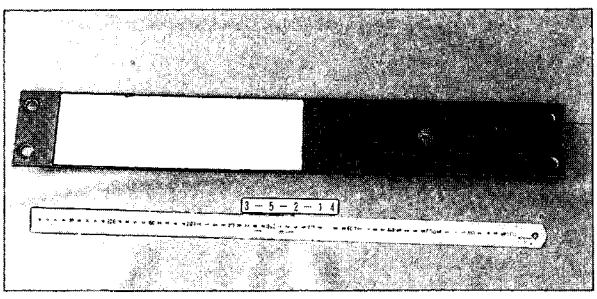
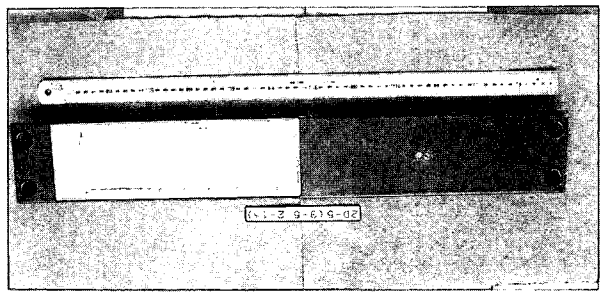
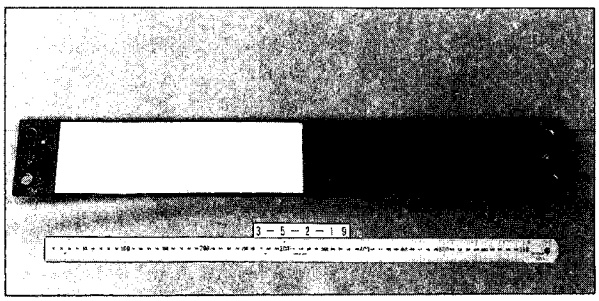
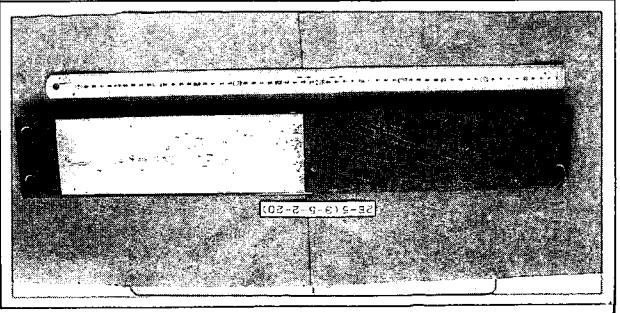
2年間暴露	5年間暴露
	
塗装端面から　２０mm	
	
塗装端面から　５０mm	
	
塗装端面から　１００mm	
	
塗装端面から　１５０mm	
	
塗装端面から　３００mm	

写真2.3.1　異種金属接合試験における塗膜欠陥部の腐食状況（2年と5年間暴露試験，その１）

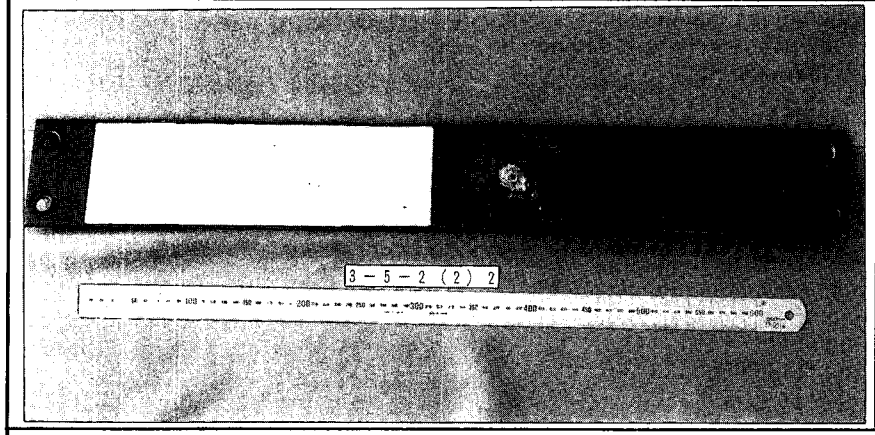
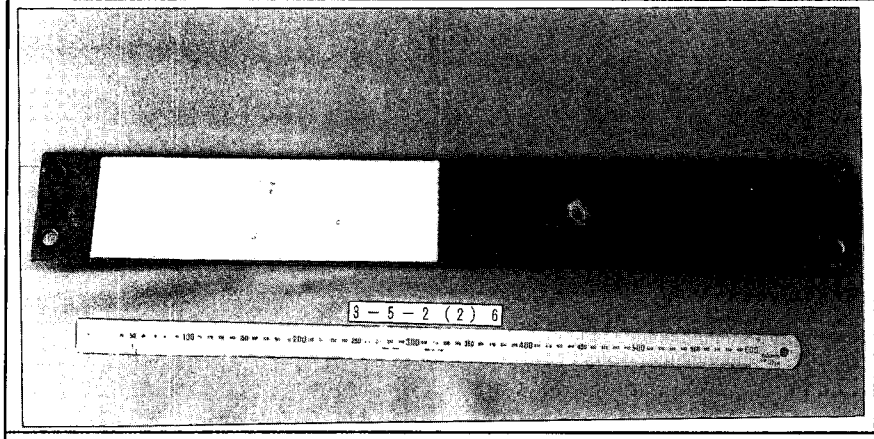
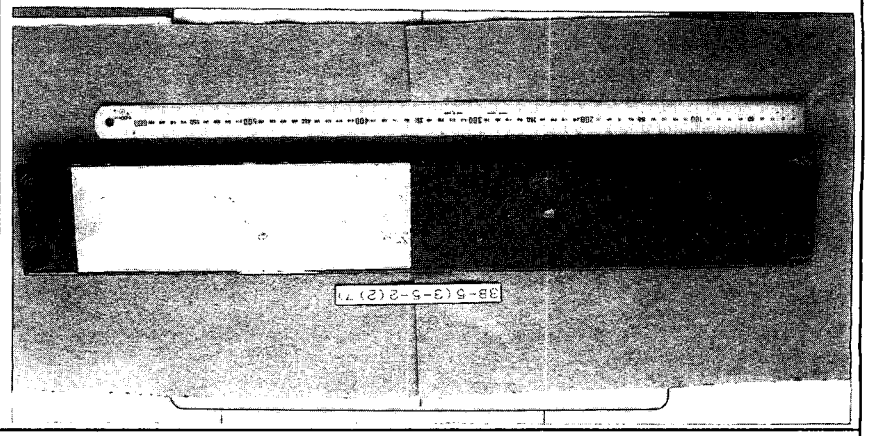
<table>
<tr><td rowspan="4">異種金属
接合試験片
(ステンレス鋼塗装)</td><td>2年間暴露</td><td>5年間暴露</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>3A－5脱落</td></tr>
<tr><td colspan="2">塗装端面から　70mm（ステンレス側へ50mm塗装）</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td colspan="2">塗装端面から　120mm（ステンレス側へ100mm塗装）</td></tr>
</table>

写真2.3.2　異種金属接合試験(ステンレス鋼塗装)における塗膜欠陥部の腐食状況
(2年と5年間暴露試験，その１)

(3)異種金属接触腐食

塗膜欠陥部のSM400Bの最大腐食深さと塗膜端部からの距離の関係を表2.3.6，2.3.7と図2.3.2，2.3.3に示す。

１年後，２年後のデータでは塗装端部から距離により腐食深さが小さくなることがわかる。

一方、５年後では、50mm近傍で腐食深さが極端に小さくなっている。これは断面観察の結果、欠陥部塗装が劣化し欠陥面積が大きくなったためであることがわかった。SM400Bの腐食速度評価用試験片では５年後の平均腐食量が0.571mmであることから、異種金属接触腐食試験片の塗装端部から300mm離れた位置の腐食量1.55mmは、2.7倍(SM400/SUS304=1:1000)加速されていると思われる。

塗膜欠陥部(SM400B)の断面腐食状況を写真2.3.3に示す。

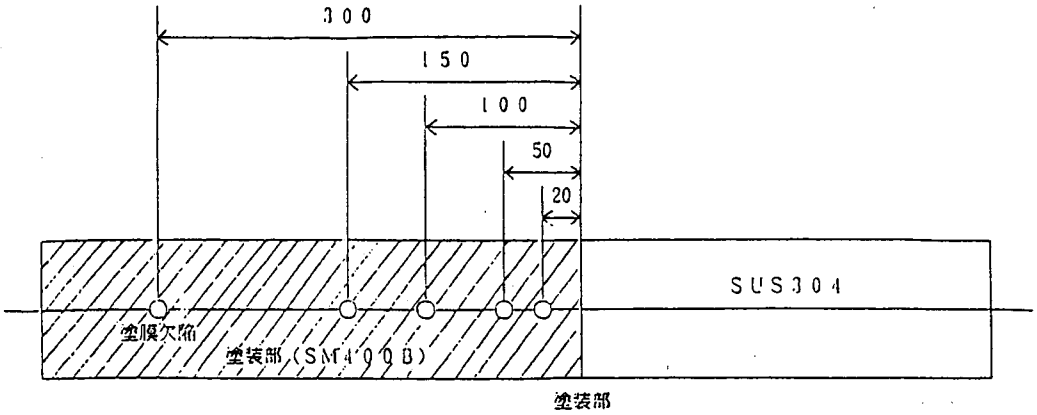


表2.3.6　測定結果

塗膜端と欠陥の距離 (mm)	1年後 試験片No.	2年後 試験片No.	5年後 試験片No.
20	0.7744 2A-1	1.1078 2A-3	1.186 2A-5
50	0.6080 2B-1	0.7635 2B-3	0.62 2B-5
100	0.6214 2C-1	0.7483 2C-3	1.011 2C-5
150	0.6482 2D-1	0.7722 2D-3	1.309 2D-5
300	0.6188 2E-1	0.7235 2E-3	1.554 2E-5

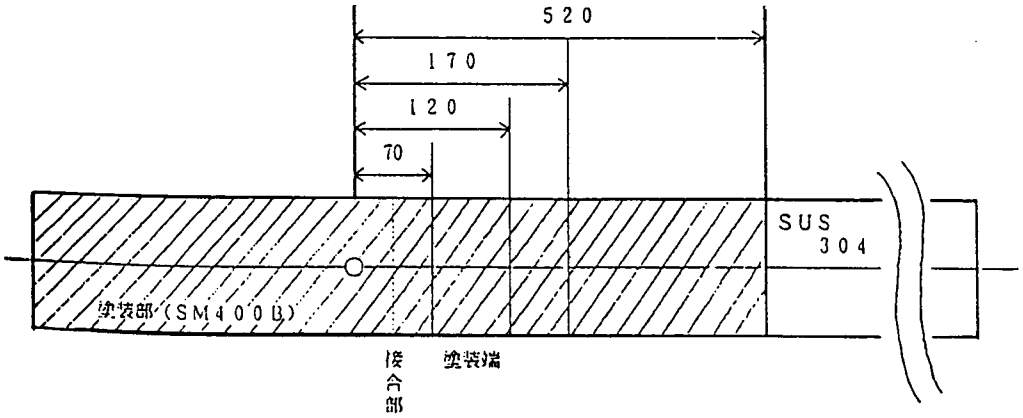


表2.3.7　板厚測定結果

塗膜端と欠陥の距離 (mm)	1年後 試験片No.	2年後 試験片No.	5年後 試験片No.
70	0.5780 3A-1	0.8106 3A-3	脱落 3A-5
120	0.7620 3B-1	0.5023 3B-3	1.302 3B-5
170	0.6216 3C-1		
520	0.3942 3D-1		

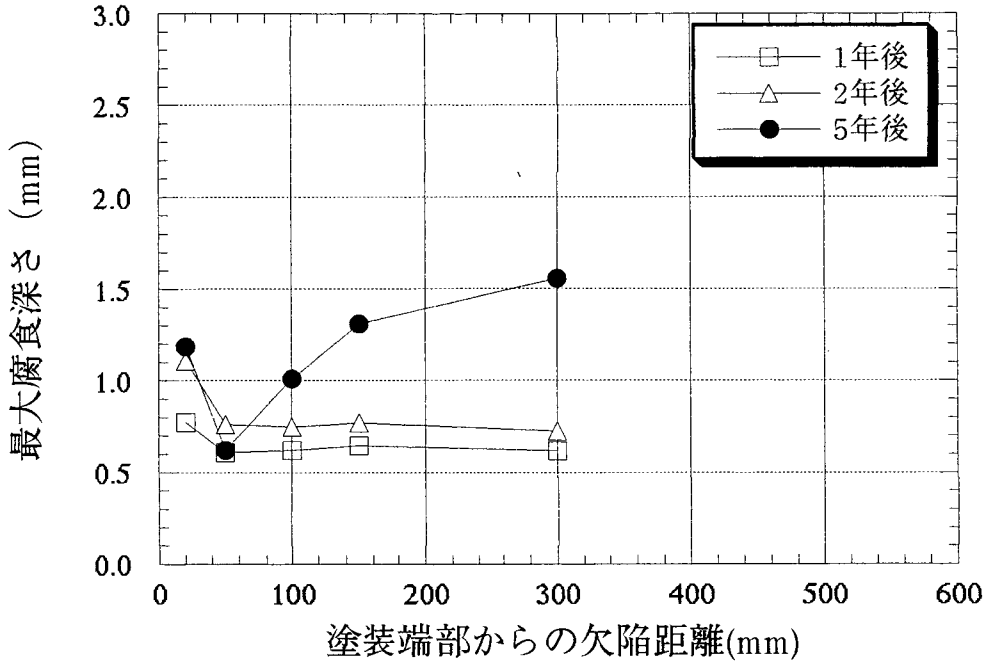


図2.3.2　普通鋼部塗装の異種金属接触腐食

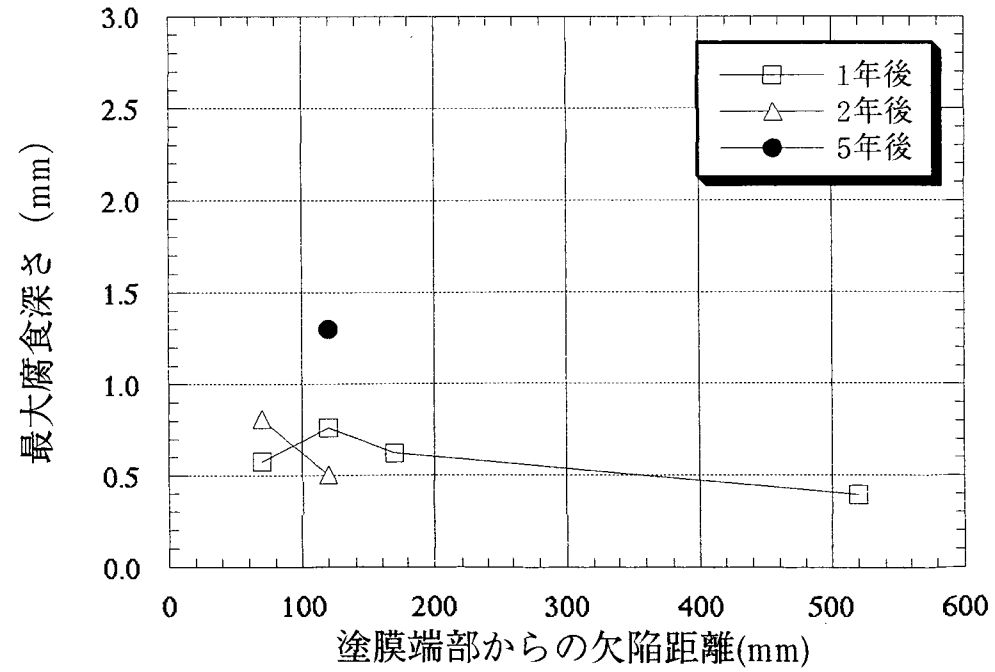
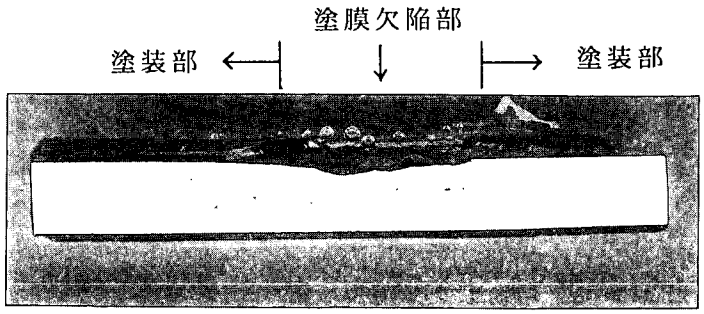
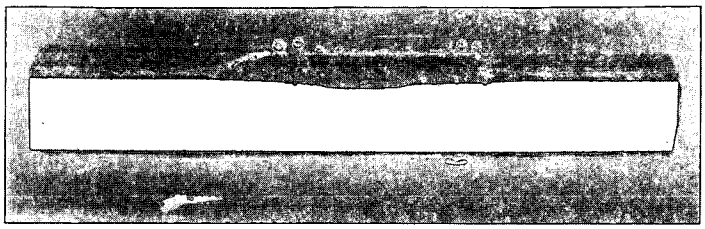


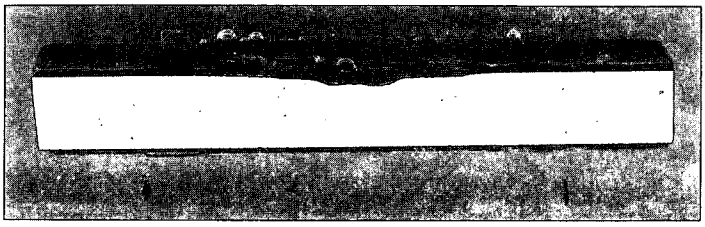
図2.3.3　ステンレス部塗装の異種金属接触腐食



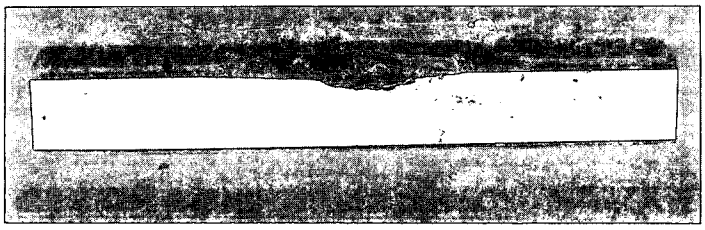
2A−5 (塗膜端からの距離 20mm)



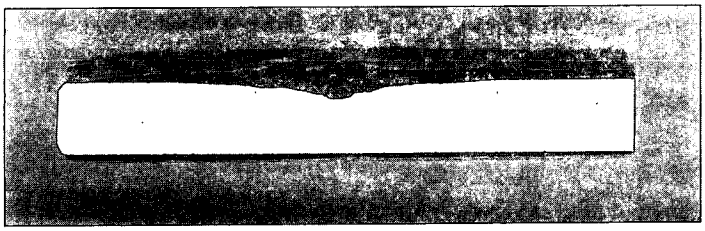
2B−5 (塗膜端からの距離 50mm)



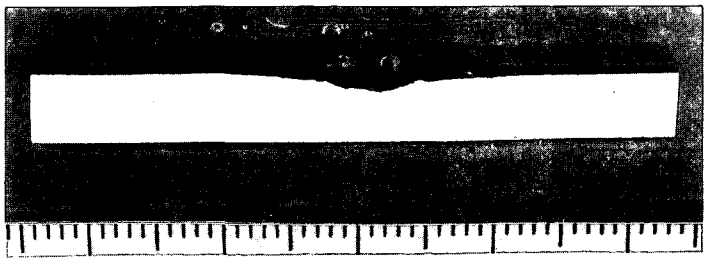
2C−5 (塗膜端からの距離 100mm)



2D−5 (塗膜端からの距離 150mm)



2E−5 (塗膜端からの距離 300mm)



3B−5 (塗膜端からの距離 120mm)

写真2.3.3 塗膜欠陥部の断面腐食状況(5年間暴露, その1)

(4)自然電位測定

現地における暴露試験片の電位測定結果（２年間）を表2.3.8に、それをグラフ化したものを図2.3.4, 2.3.5に示す。付着物がついたままのSUS304部の電位は、200mV～380mV程度となっており、塗装欠陥部のSM400Bの電位は単独試験片の電位(-280mV～-560mV)よりかなり貴側にシフトしている。

これは、ステンレスの電位の影響を受けていると考えられる。しかしながら SUS304の付着物を水洗い流した後の電位はいずれの試験片でも一様に-200mV程度まで卑にシフトすることから、この付着物がステンレスの電位上昇に大きく関係していると言える。

５年間暴露試験における電位測定結果を表2.3.9, 図2.3.6と2.3.7に示すように、付着物が付いたままのSUS304部の電位は塗装端部からの距離が長くなる程、SUS304の電位が卑になっている。すなわち、塗装端部から100mm以上になると約-420mVまで下がっている。一方、SM400Bの電位は塗装端部から離れる程、卑側になり約-460mVになっている。

SUS304の電位は２年間暴露試験結果と較べると約500mVも低下している。この理由としては、SUS304がすき間腐食を生じて電位が全体として低下している可能性があるものと推測される。

水洗いして付着物を除去すると、全体として電位が低下する傾向は２年間暴露試験と同じ傾向を示すが、塗装端部からの距離が100mm以上のものについてはあまり変化がなかった。なぜならば、SM400Bの電位とあまり変わらないためと考えられる。

表2.3.8(1)　２年間の七ヶ宿ダム湖における各種材料の自然電位測定結果

（測定日時：Ｈ５年１１月２日）

（Ag-AgCl標準電極）

供試体No.4-3(SM400B)			供試体No.3A-3			供試体No.3B-3		
測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)	
	そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後
0	-430	-460	0	278	-220	0	246	-160
10	-566	-440	10	305	-216	10	254	-153
20	-540	-440	20	299	-214	20	255	-151
30	-560	-380	30	302	-218	30	262	-150
40	-510	-428	40	304	-221	40	267	-145
50	-398	-280	50	303	-224	50	262	-142
100	-398	-428	100	335	-230	100	240	-139
150	-497	-412	150	318	-237	150	198	-139
200	-516	-415	200	319	-245	200	207	-160
250	-323	-422	250	317	-242	250	126	-165
300	-340	-418	300	276	-236	300	33	-189
			塗膜欠陥	-251	－	塗膜欠陥	-168	－

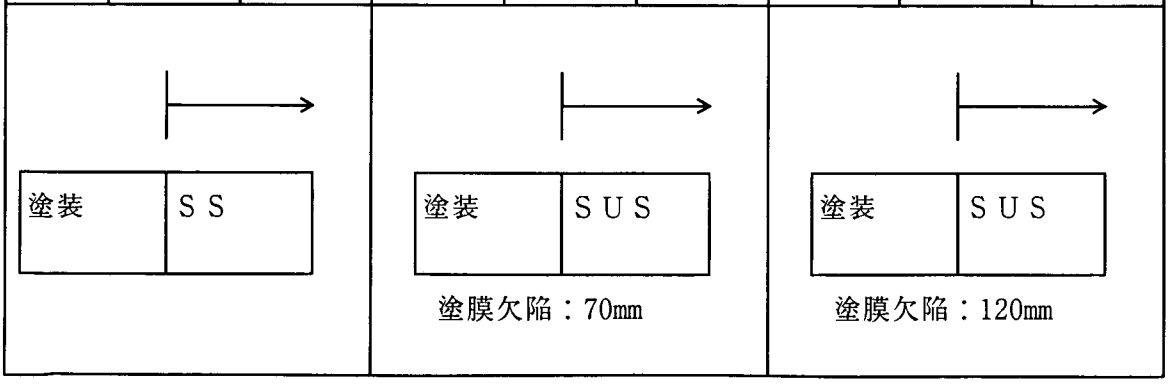


表2.3.8(2)　２年間の七ヶ宿ダム湖における各種材料の自然電位測定結果

（測定日時：Ｈ５年１１月２日）

（Ag-AgCl標準電極）

供試体No.2A-3			供試体No.2B-3			供試体No.2C-3			供試体No.2D-3		
測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)	
	そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後
0	151	-236	0	256	-205	0	251	-209	0	306	-118
10	202	-215	10	304	-212	10	266	-202	10	252	-130
20	235	-213	20	296	-208	20	275	-194	20	290	-132
30	256	-205	30	282	-206	30	273	-202	30	313	-123
40	294	-206	40	289	-206	40	299	-193	40	326	-122
50	304	-200	50	307	-203	50	313	-189	50	320	-129
100	327	-193	100	307	-186	100	336	-185	100	326	-130
150	283	-187	150	244	-187	150	318	-185	150	280	-137
200	246	-198	200	269	-230	200	292	-193	200	312	-138
250	169	-206	250	183	-203	250	298	-203	250	301	-164
300	119	-210	300	235	-224	300	270	-206	300	269	-147
塗膜欠陥	-67	—	塗膜欠陥	-138	—	塗膜欠陥	-87	—	塗膜欠陥	-90	—
塗装 | SUS 塗膜欠陥：20mm			塗装 | SUS 塗膜欠陥：50mm			塗装 | SUS 塗膜欠陥：100mm			塗装 | SUS 塗膜欠陥：150mm		

表2.3.8(3)　２年間の七ヶ宿ダム湖における各種材料の自然電位測定結果

（測定日時：Ｈ５年１１月２日）

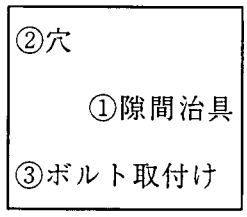
（Ag-AgCl標準電極）

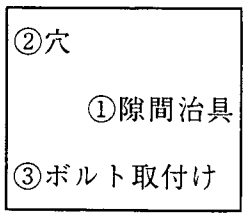
供試体No.2E-3			供試体No.5B-3(410)			供試体No.2D-3(430)			供試体No.5A-3(304)		
測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)	
	そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後
0	236	-224	①	398	295	①	154		①	358	326
10	264	-236	②	360	288	②	113		②	360	313
20	260	-215	③	369	242	③	79		③	348	290
30	260	-216									
40	278	-213									
50	298	-212									
100	320	-208									
150	343	-220									
200	325	-215									
250	342	-205									
300	330	-243									
塗膜欠陥	-425										



塗装	ＳＵＳ

塗膜欠陥：300mm





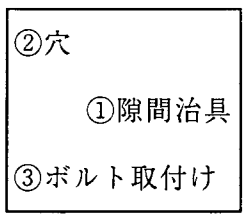


表2.3.8(4)　２年間の七ヶ宿ダム湖における異種金属ボルトの自然電位測定結果

（測定日時：Ｈ５年１１月２日）

（Ag-AgCl標準電極）

供試体No.6A-3			供試体No.6B-3			供試体No.6C-3			供試体No.6D-3		
測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)		測定点	電　位(mV)	
(mm)	そのまま	水洗い後	(mm)	そのまま	水洗い後	(mm)	そのまま	水洗い後	(mm)	そのまま	水洗い後
①　0	395	258	①　0	415	303	①　0	177	-6.7	①　0	-570	-546
②　50	400	268	②　50	402	291	②　50	164	-1.6	②　50	-347	-385
③ 100	377	272	③ 100	389	293	③ 100	153	-1.2	③ 100	-390	-429
④ 150	382	268	④ 150	378	298	④ 150	147	-7.5	④ 150	-330	-535
⑤ -50	346	193	⑤ -50	390	198	⑤ -50	94	-74	⑤ -50	-476	-420
⑥-100	345	151	⑥-100	383	190	⑥-100	54	-62	⑥-100	-402	-501
⑦-150	328	223	⑦-150	382	244	⑦-150	93	-58	⑦-150	-391	-386
⑦ ⑥⑤ ① ②③ ④ すき間部			⑦ ⑥⑤ ① ②③ ④ すき間部			⑦ ⑥⑤ ① ②③ ④ すき間部			⑦ ⑥⑤ ① ②③ ④ すき間部		

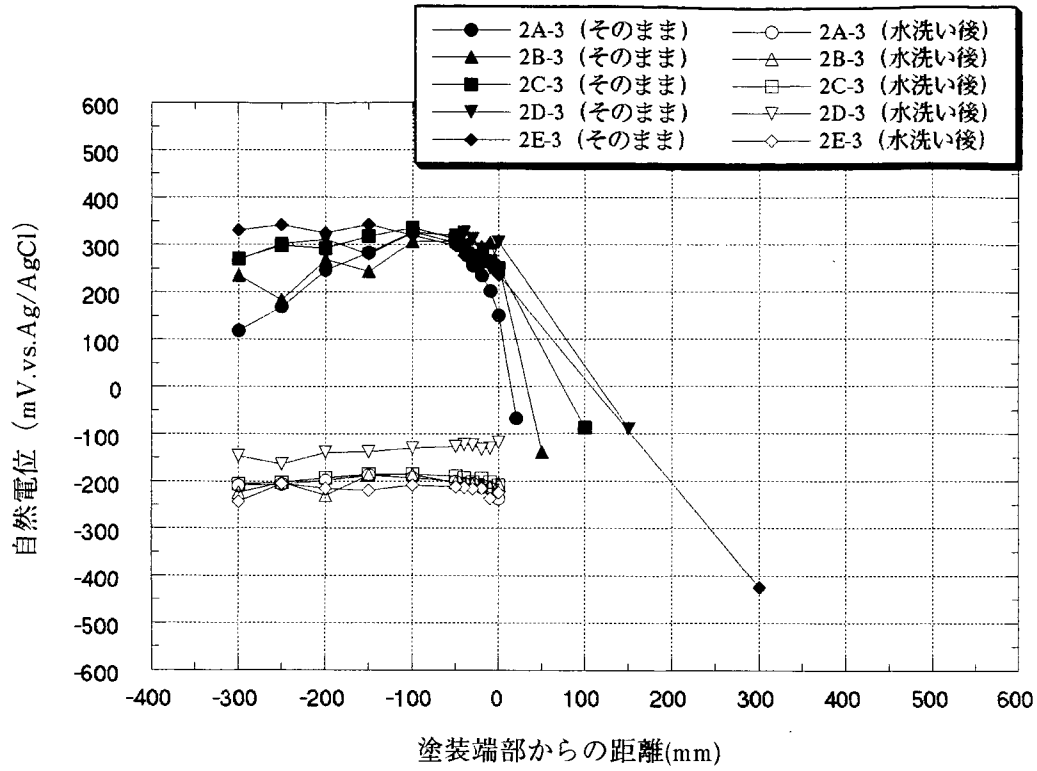


図2.3.4 普通鋼部塗装の異種金属接触腐食（2年間暴露）

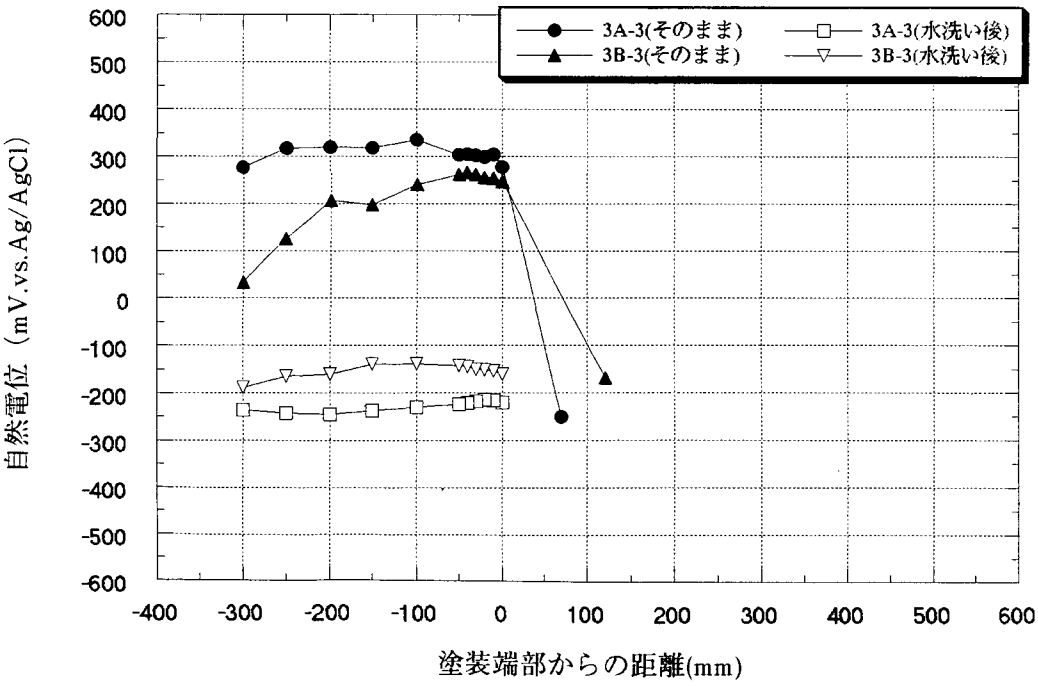


図2.3.5 ステンレス部塗装の異種金属接触腐食（2年間暴露）

表2.3.9(1)　七ヶ宿ダム湖の５年間暴露後の電位測定

（単位：mV vs SCE）

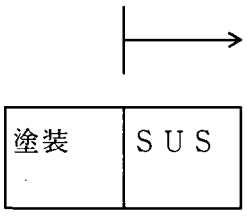
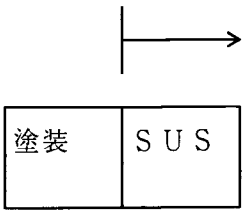
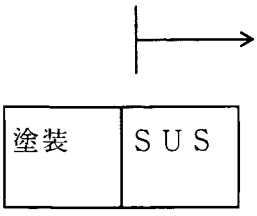
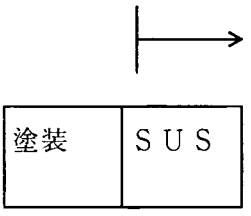
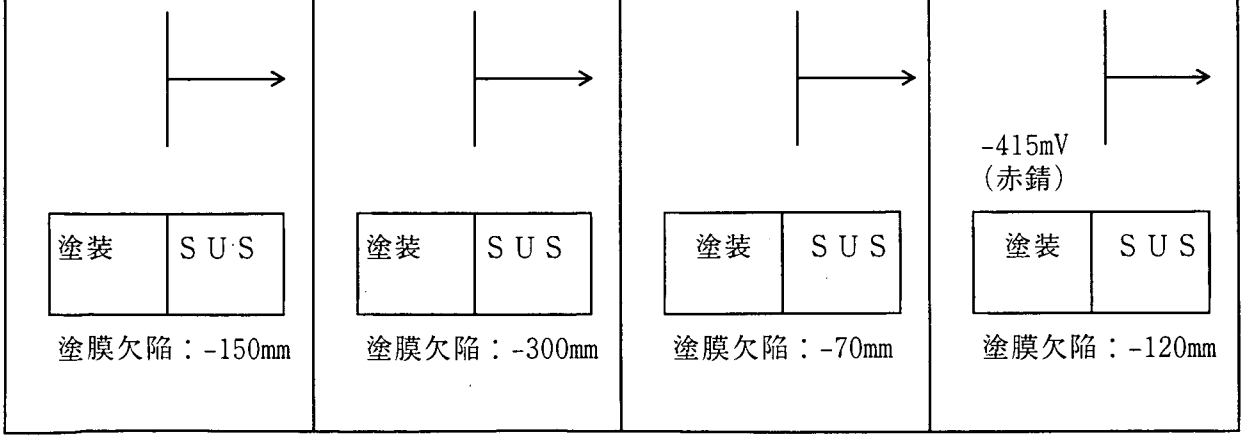
供試体No.4-5			供試体No.2A-5			供試体No.2B-5			供試体No.2C-5		
測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)	
	そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後
1.5	-534	測定しなかった	1.5	-281	-367	1.5	-323	-388	1.5	-432	-427
10	-542		10	-280	-368	10	-321	-387	10	-430	-426
20	-534		20	-278	-366	20	-320	-385	20	-428	-425
30	-533		30	-276	-365	30	-319	-385	30	-426	-424
40	-536		40	-270	-364	40	-318	-384	40	-424	-423
50	-527		50	-271	-364	50	-317	-385	50	-423	-423
100	-539		100	-265	-362	100	-311	-382	100	-421	-418
150	-494		150	-264	-360	150	-304	-379	150	-417	-413
200	-499		200	-267	-360	200	-308	-378	200	-420	-413
250	-460		250	-265	-360	250	-313	-378	250	-425	-415
300	-473		300	-270	-361	300	-315	-379	300	-430	-420
			塗膜欠陥	-284	-364	塗膜欠陥	-328	-390	塗膜欠陥	-440	-438
			 塗膜欠陥：-20mm			 塗膜欠陥：-50mm			 塗膜欠陥：-100mm		

表2.3.9(2)　七ヶ宿ダム湖の５年間暴露後の電位測定

（単位：mV vs SCE）

供試体No.2D-5			供試体No.2E-5			供試体No.3A-5			供試体No.3B-5		
測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)		測定点(mm)	電　位(mV)	
	そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後		そのまま	水洗い後
1.5	-405	-433	1.5	-420	-395	1.5	この試験片は流失の為に測定不可能		1.5	-372	-395
10	-400	-432	10	-412	-391	10			10	-367	-392
20	-396	-431	20	-406	-387	20			20	-364	-390
30	-395	-430	30	-400	-382	30			30	-363	-389
40	-394	-430	40	-396	-379	40			40	-361	-387
50	-390	-429	50	-393	-377	50			50	-360	-385
100	-389	-424	100	-388	-361	100			100	-354	-381
150	-391	-421	150	-384	-367	150			150	-355	-382
200	-396	-421	200	-383	-368	200			200	-354	-383
250	-398	-419	250	-382	-370	250			250	-354	-381
300	-406	-426	300	-370	-388	300			300	-362	-385
塗膜欠陥	424	-446	塗膜欠陥	-459	-463	塗膜欠陥			塗膜欠陥	-481	-464



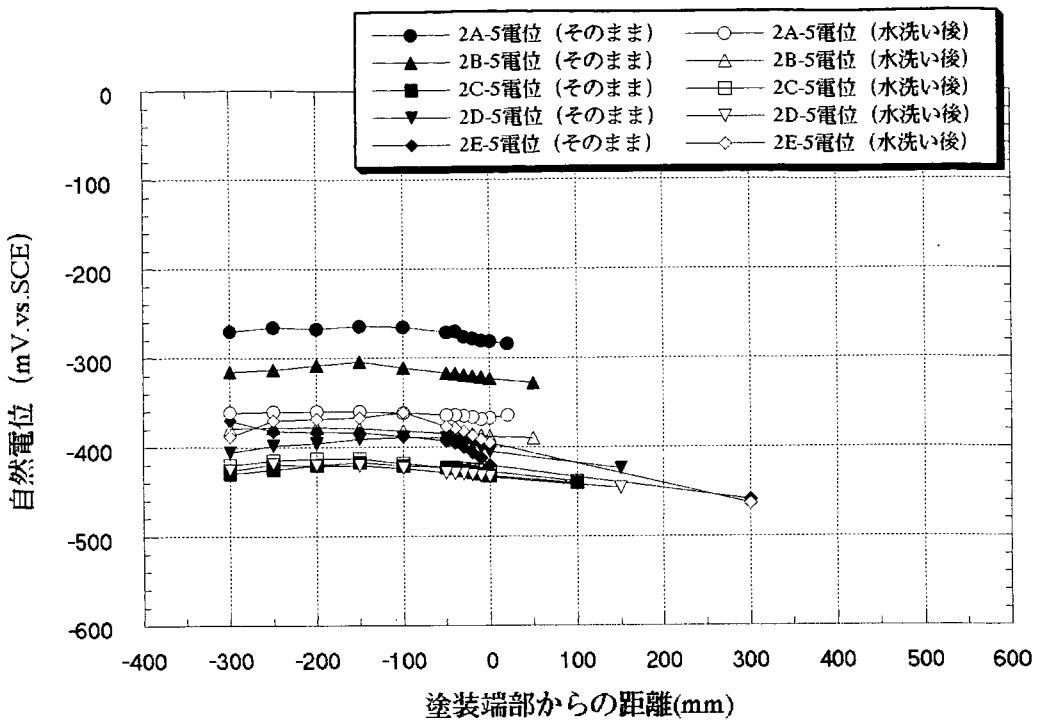


図2.3.6 普通鋼部塗装の異種金属接触腐食（5年間暴露）

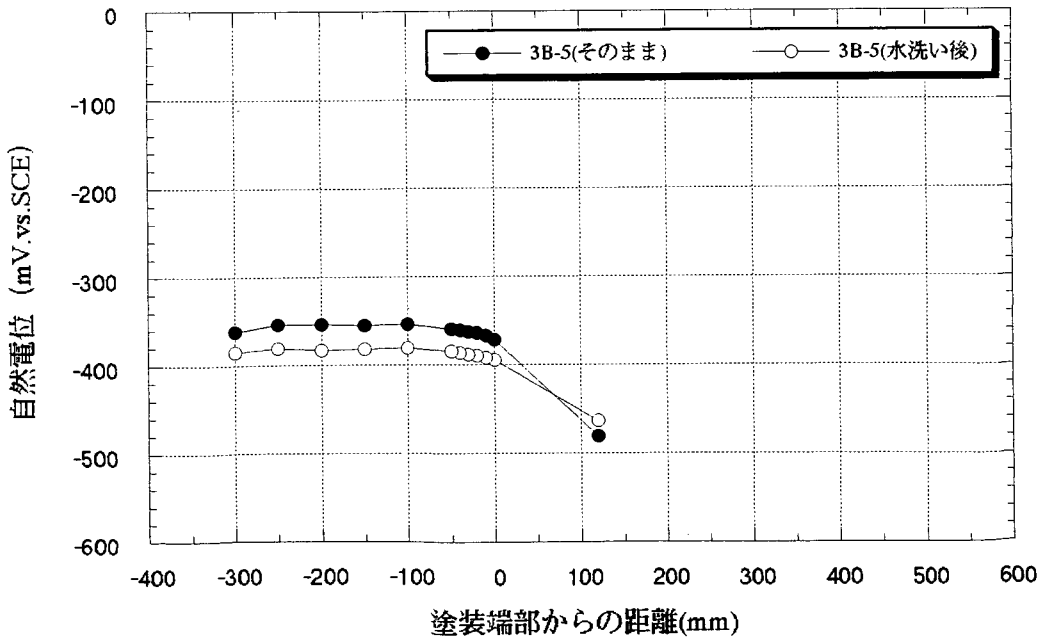


図2.3.7 ｽﾃﾝﾚｽ部塗装の異種金属接触腐食（5年間暴露）

２．４すき間腐食試験(その１)

２．４．１目的

淡水環境中におけるSUS410,SUS430およびSUS304の耐すき間腐食性を調べる目的で、七ヶ宿ダム湖で１０年間の暴露試験を開始した。

２．４．２試験条件

(1)供試材

SUS410,SUS430およびSUS304鋼の化学成分を表2.4.1に示す。また、これらの機械的性質を表2.4.2に示す。

表2.4.1　供試材料の化学成分　　（ｗｔ％）

鋼　種	C	Ｓｉ	Ｍｎ	P	S	Ｎｉ	Ｃｒ	板厚(mm)
SUS410	0.06	0.42	0.31	0.022	0.007	0.11	12.21	5
SUS430	0.07	0.56	0.37	0.026	0.004	0.11	16.46	5
SUS304	0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	5

表2.4.2　供試材料の機械的性質

鋼　種	引　張　試　験			硬さ試験	曲げ試験	溶体化温度
	0.2%耐力 (kgf/mm^2)	引張強さ (kgf/mm^2)	伸び (%)	(HRB)	(180°)	
SUS410	34	49	30	87	良好	850℃× 7hr
SUS430	30	46	34	82	良好	－
SUS304	33	64	52	86	－	1100℃×25min WC

(2)試験片形状

1)すき間腐食に関する暴露試験（ＡＳＴＭ法）

ＡＳＴＭ－７８法に準拠した'5.0×"100×'100で中央部にφ72mmの穴の開いたすき間腐食試験片を湿式研磨600番仕上げを行った。

すき間形成材は図2.4.1 に示すものを用いて、SUS410,SUS430およびSUS304の試験片に装置し、SUS304製のボルトナットで締め付け力は0.9kgf-mとした。この装着状況を図2.4.2 に示す。

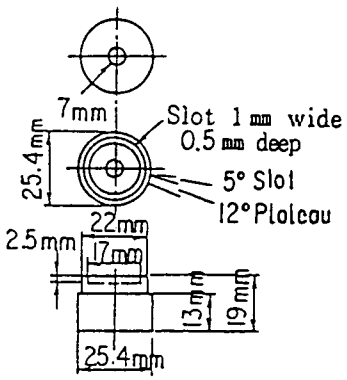


図2.4.1　すき間形成材

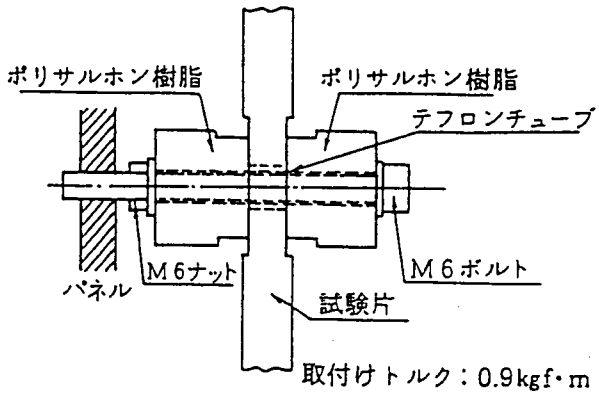


図2.4.2　すき間腐食試験片装置状況

2)異種金属ボルト試験

図2.4.3に示す300mm×100mmで厚さ5mmのSUS304とSM400Bの試験片を、それぞれバフ研磨仕上げした鋼板にSUS410,SUS430,SUS304製のボルトをSUS304のワッシャーを介して締付けトルク0.9kgf-mで接合して試験片を製作した。

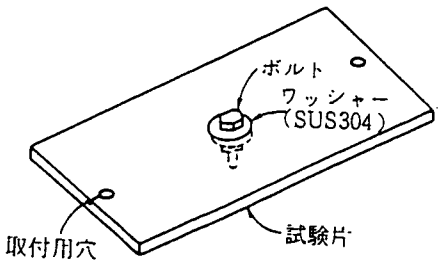
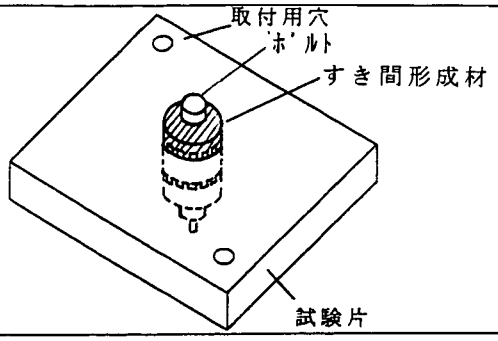


図2.4.3　異種金属ボルト試験片形状

(3) 暴露期間

試験片の種類		暴露期間（年）				試　験　片　形　状	
		1	2	5	10		
						試　験　片	
1	すき間腐食試験片 （ＡＳＴＭ法）	●	●	●	○	５Ａ－１ ５Ａ－３ ５Ａ－５ ５Ａ－１０	ＳＵＳ３０４
		●	●	●	○	５Ｂ－１ ５Ｂ－３ ５Ｂ－５ ５Ｂ－１０	ＳＵＳ４１０
		●	●	●	○	５Ｃ－１ ５Ｃ－３ ５Ｃ－５ ５Ｃ－１０	ＳＵＳ４３０
		1	2	5	10		
						試　験　片	ボ　ル　ト
2	すき間腐食試験片 （異種金属ボルト）	●	●	×	○	６Ａ－１ ６Ａ－３ ６Ａ－５ ６Ａ－１０ ＳＵＳ３０４	ＳＵＳ４１０
		●	●	×	○	６Ｂ－１ ６Ｂ－３ ６Ｂ－５ ６Ｂ－１０ ＳＵＳ３０４	ＳＵＳ４３０
		●	●	×	○	６Ｃ－１ ６Ｃ－３ ６Ｃ－５ ６Ｃ－１０ ＳＵＳ３０４	ＳＵＳ３０４
		●	●	×	○	６Ｄ－１ ６Ｄ－３ ６Ｄ－５ ６Ｄ－１０ ＳＭ４００Ｂ	ＳＵＳ３０４

●：回収調査済み

○：暴露試験中

×：流失

２．４．３調査項目

暴露後に回収した試験片の調査項目を表2.4.3 に示す。

暴露試験片引き上げ直後の外観状況観察、もらい錆の有無及び自然電位測定を行った。さらに、試験片を実験室に持ち帰って、すき間腐食発生の有無及び腐食深さなどを測定した。

表2.4.3　すき間腐食試験の調査内容

調査場所	調　査　項　目
現　　場	外観観察，自然電位測定
実 験 室	外観観察，孔食およびすき間腐食の数と深さ測定

２．４．４調査結果

(1)すき間腐食

1)外観状況

写真2.4.1に示すように１年間暴露試験後のSUS410,SUS430およびSUS304には青緑色の藻が試験片、ホルダーの全面に生息していた。

しかし、２年間暴露試験後はすべての試験片およびホルダー等に藻が生息していなかった。この理由として考えられることは、平成５年度夏は涼しく、かつ豪雨であったために藻が繁殖しにくくなったものと推測される。

写真2.4.2に示すように、５年間暴露試験結果は１年間暴露試験と同様にステンレス鋼には藻が生息していた。

SM400Bは赤錆で全面が覆われていた。全面腐食している試験片には藻は生息しにくいと考えられる。

2)孔食・すき間腐食発生状況

表2.4.4に１年間暴露試験結果を示す。

すべての鋼種においてすき間腐食は発生しなかった。しかし、試験片を固定しているボルト近傍部に多数の微小な孔食およびすき間腐食が発生していた。この孔食深さは、SUS410では最大0.08mm,SUS430およびSUS304は0.01mmであった。

２年間暴露試験結果も１年間の暴露結果と同様な結果になったが、すべての鋼種においても孔食深さが最大0.02mmであった。

５年間暴露試験結果は１と２年間の暴露試験結果と同様に、すき間部においてはいずれの鋼種もすき間腐食が発生しなかったが、ボルト近傍部に孔食およびすき間腐食が発生していた。この孔食およびすき間腐食の進展については５年間暴露試験を行っても0.01mm～0.02mmであったことから、あまり進展していないと思われる。これらの孔食状況を写真2.4.3～2.4.4に示す。

3)自然電位測定

表2.4.5と図2.4.4に各種鋼種の自然電位を示す様に１年後の自然電位はそれぞれSM400Bが約 -500mV、SUS410が約40mV、SUS430が約360mV、SUS304が約340mVであった。５年間暴露試験の自然電位は１年および２年の暴露結果と同じ電位挙動を示し、クロム量が増大すると電位が上昇している。

一方、クロム量が16.5%以上(SUS430)で自然電位が最大値を示しているが、これはバラツキと考えられる。なぜならば、おなじ鋼種でも日時によって自然電位が変動しているために、たまたまある時刻の値を計測している。

自然電位はクロム量が０の時に約-500mVであるが、12.2%クロム量になると急激に電位が上昇して40～280mVになっている。この間のデータがないので直線になっているが、予想では5～7%クロム量になると自然電位が上昇するものと考えられる。なぜならば、水道水の腐食試験結果では5～7%クロム量を含有すると全面腐食性から孔食に至ることから、5～7%クロムで不働態化しているために自然電位が上昇するものと考えられる。

クロム量が０の自然電位のプロット数が少ないために異種金属ボルトのデータを合わせてプロットした。

この電位の上昇はSUS304の局部腐食発生の下限電位(200ppmCl^-,30℃)約600mVに近づくために局部腐食が発生しやすいことを示しているものと示唆される。

この付着物を除去すると、いずれの鋼種共に若干電位が下がることがわかった。

一方、ダム湖の水でSUS304の自然電位は-34mVであった。従って、藻や微生物が付着していないと自然電位は非常に低いことがわかった。

この電位上昇は湖に生息している微生物の生息あるいは代謝活動によるものと考えられる。

(2)異種金属ボルトによるすき間腐食

1)外観状況

写真2.4.5, 2.4.6に示す様に、1年間暴露試験の外観状況はすき間腐食試験の腐食状況とまったく同様にステンレス鋼の表面に藻が生息していたが、SM400Bには藻が生息していなかった。

しかし、2年間暴露試験の外観状況を写真2.4.7に示す様に、ステンレス鋼の表面にまったく藻が生息していなく、にぶい金属光沢を示している。

SM400Bは写真2.4.8に示す様に、藻がほとんど付着していなかった。

5年間暴露試験片は非常に残念ながら脱落して回収出来なかった。

2)孔食・すき間腐食発生状況および侵食深さ

1年間暴露試験結果、SUS304/SUS410（ボルト・ナット）はボルト・ナットに厳しい腐食が発生した。SUS304の試験片とワッシャ（SUS304製）にはすき間腐食は認められなかった。

しかし、試験片（SUS304）のボルト締付け時のキズ部に微小なすき間腐食が発生した。

SUS304/SUS430（ボルト・ナット）はナットに軽微なすき間腐食が発生した。SUS430製ボルトには、すき間腐食は認められなかった。SUS304/SUS304（ボルト・ナット）はボルト・ナット、ワッシャおよび試験片にいずれも孔食・すき間腐食が認められなかった。

2年間の異種金属接触腐食試験結果を表2.4.6に示す。SUS304/SUS410（ボルト・ナット）は、ボルトに厳しい腐食が発生したが、ナットおよびワッシャにはすき間腐食が発生しなかった。SUS304の試験片は微小なすき間腐食が発生していた。

SUS304/SUS430（ボルト・ナット）はボルト・ナットおよびワッシャのいずれにもすき間腐食が発生していなかった。しかし、SUS304の試験片には微小なすき間腐食が発生している。

SUS304/SUS304（ボルト・ナット）は、SUS304/SUS430（ボルト・ナット）と同様にいずれもすき間腐食が発生していない。しかし、SUS304の試験片は微小なすき間腐食が発生している。

七ヶ宿ダム湖では、クロム量の少ないSUS410（12.2%クロム）およびSUS430(16.5%クロム)はボルト・ナットの所ですき間腐食を生じることがわかった。

一方、SUS304(18%クロム)は、微小なすき間腐食および孔食を生じるが、あまり進展していないことがわかった。

SM400B/SUS304（ボルト・ナット）は、SUS304製のボルト・ナットおよびワッシャにはすき間腐食が生じていない。しかし、SM400Bは凹凸状に腐食しており、SM400B/SUS304との接触近傍部が異常腐食（ガルバニック腐食）を生じていた。

これらの腐食状況を写真2.4.5～2.4.8に示す。

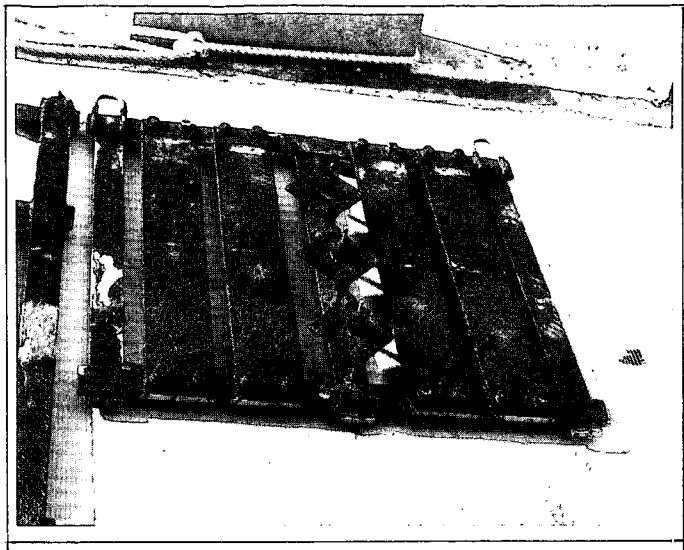
3)自然電位測定

図2.4.5に異種金属ボルトによるすき間腐食試験片の自然電位を示す様に1年後の自然電位はそれぞれ、SM400Bが約-580mV、SUS410が約180mV、SUS430が約340mVおよびSUS304が約 405mVであった（測定点のデータは全て①である)。

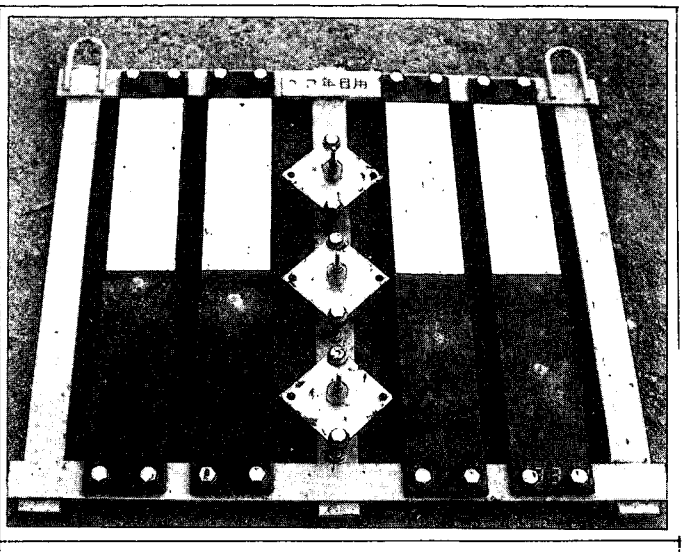
表2.4.7に示す様に、暴露期間が2年間になっても、1年間の暴露と同じ電位挙動を示し、クロム量が増大すると自然電位も上昇した。この生データをまとめたものを図2.4.5に示す。

この付着物を除去するとステンレス鋼の自然電位が下がる。

この傾向はすき間腐食試験の自然電位とクロム量との関係と同様な電位挙動を示した。SM400Bの自然電位は暴露年数に関係なく、ほぼ一定であった。すなわちこの赤錆は同じ腐食生成物であると考えられる。

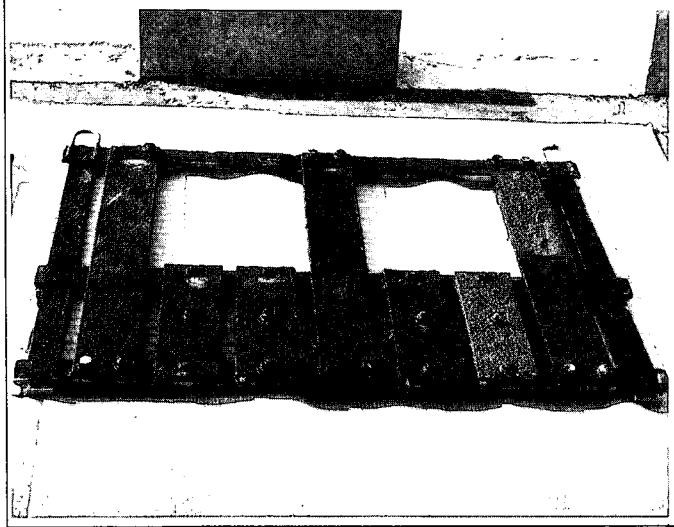


1年間（H3.10.30～H4.10.29）

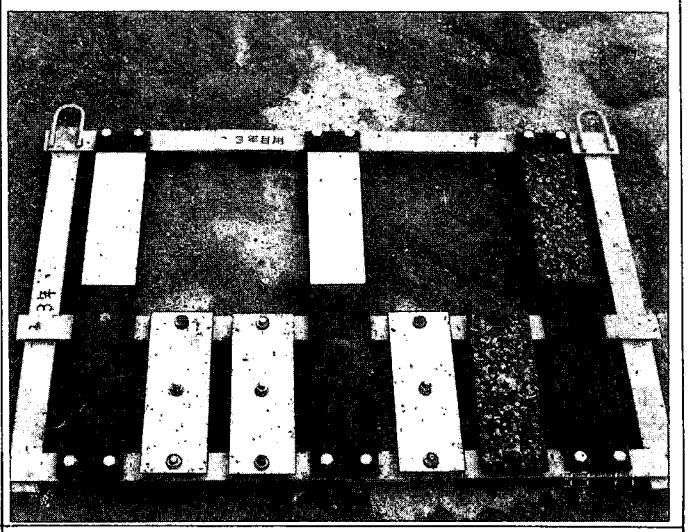


2年間（H3.10.30～H5.11. 1）

隙間腐食試験片



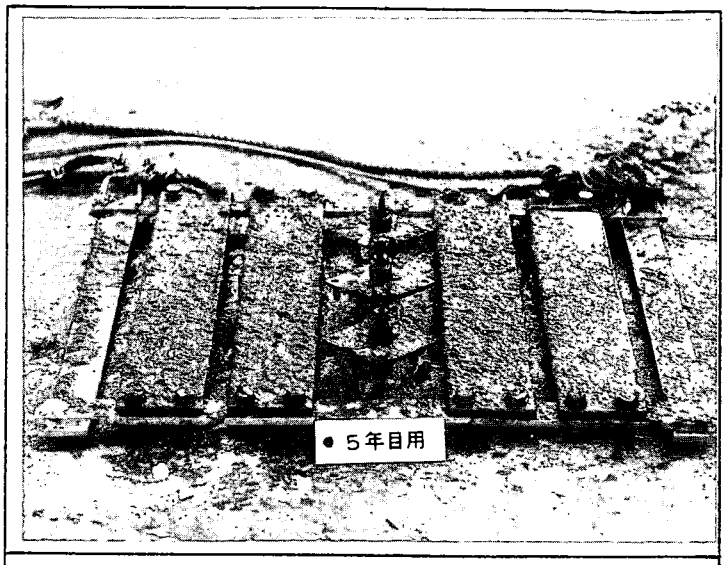
1年間（H3.10.30～H4.10.29）



2年間（H3.10.30～H5.11. 1）

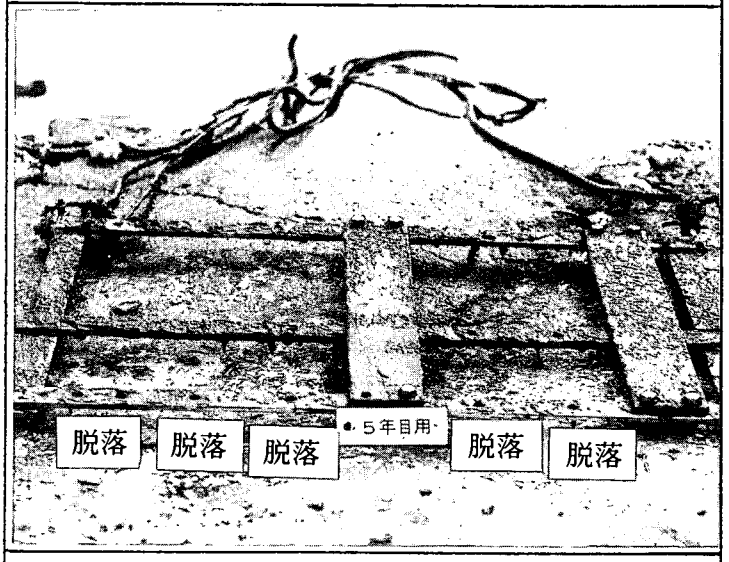
異種金属ボルト・ナットによる隙間腐食試験片

写真2.4.1　取出し直後の各種暴露試験片の腐食状況



5年間（H3.10.30~H8.11.7）

隙間腐食試験片



5年間（H3.10.30~H8.11.7）

異種金属ボルト・ナットによる隙間腐食試験片

写真2.4.2　取出し直後の各種暴露試験片の腐食状況

表2.4.4　ＳＵＳ４１０，ＳＵＳ４３０およびＳＵＳ３０４鋼の耐すき間腐食性
〔七ヶ宿ダム湖　１，２，５年間暴露，ＡＳＴＭ－７８法〕

暴露年数	鋼　種	すき間部		備　　考
		表側(マーク側)	裏側(マーク側)	
１年間	SUS410	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生最大0.08mmであった
	SUS430	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01mmで多数発生していた
	SUS304	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01mmであった
２年間	SUS410	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生していた
	SUS430	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生していた
	SUS304	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生していた
５年間	SUS410	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生していた
	SUS430	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01～0.02mmで多数発生していた
	SUS304	発生なし	発生なし	・ボルト近傍部で微小な孔食・すき間腐食発生 ・孔食深さは0.01mmで多数発生していた

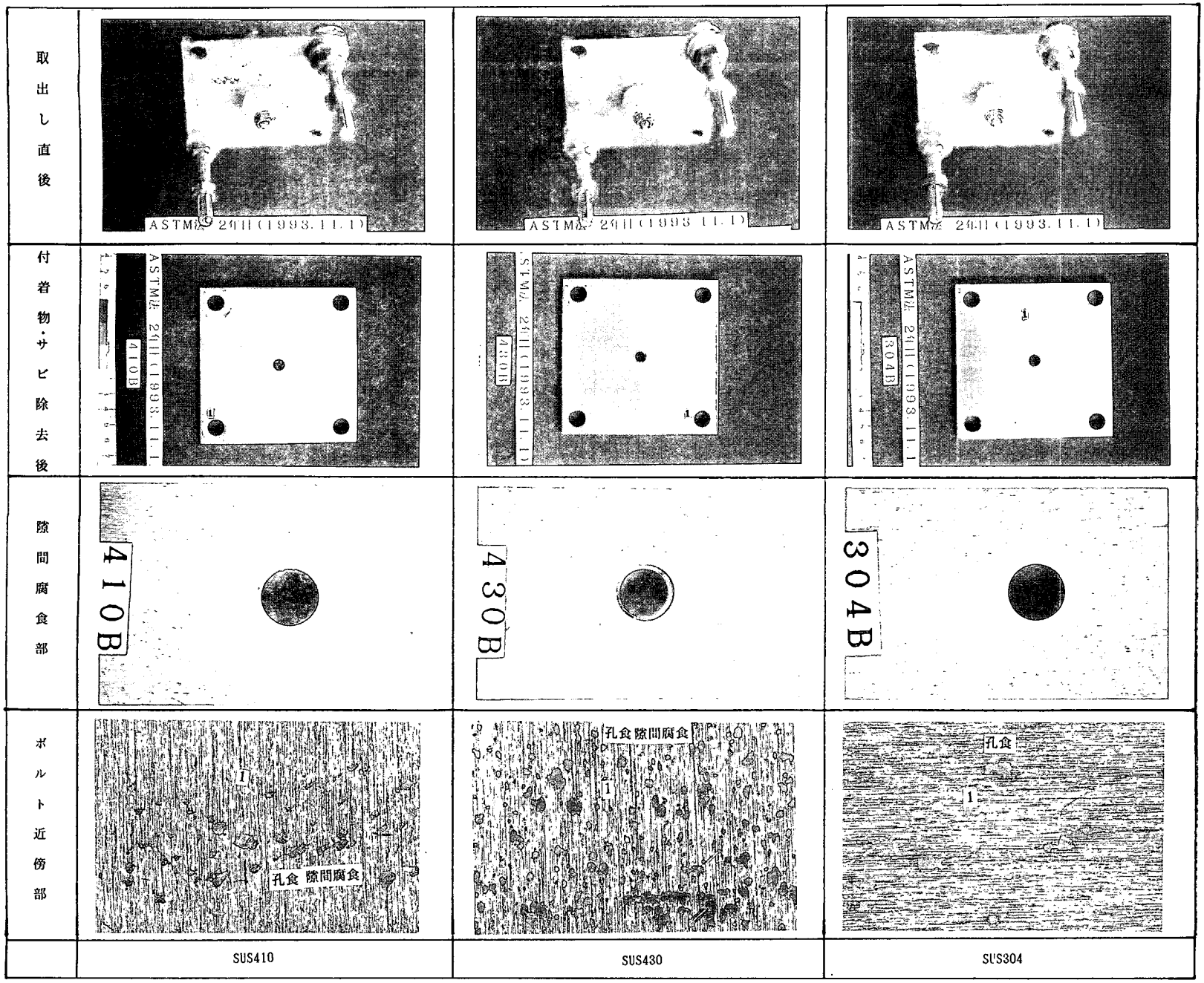


写真2.4.3　SUS410, 430および304鋼のすき間腐食試験後の孔食発生状況
［七ヶ宿ダム湖，２年間暴露データ］

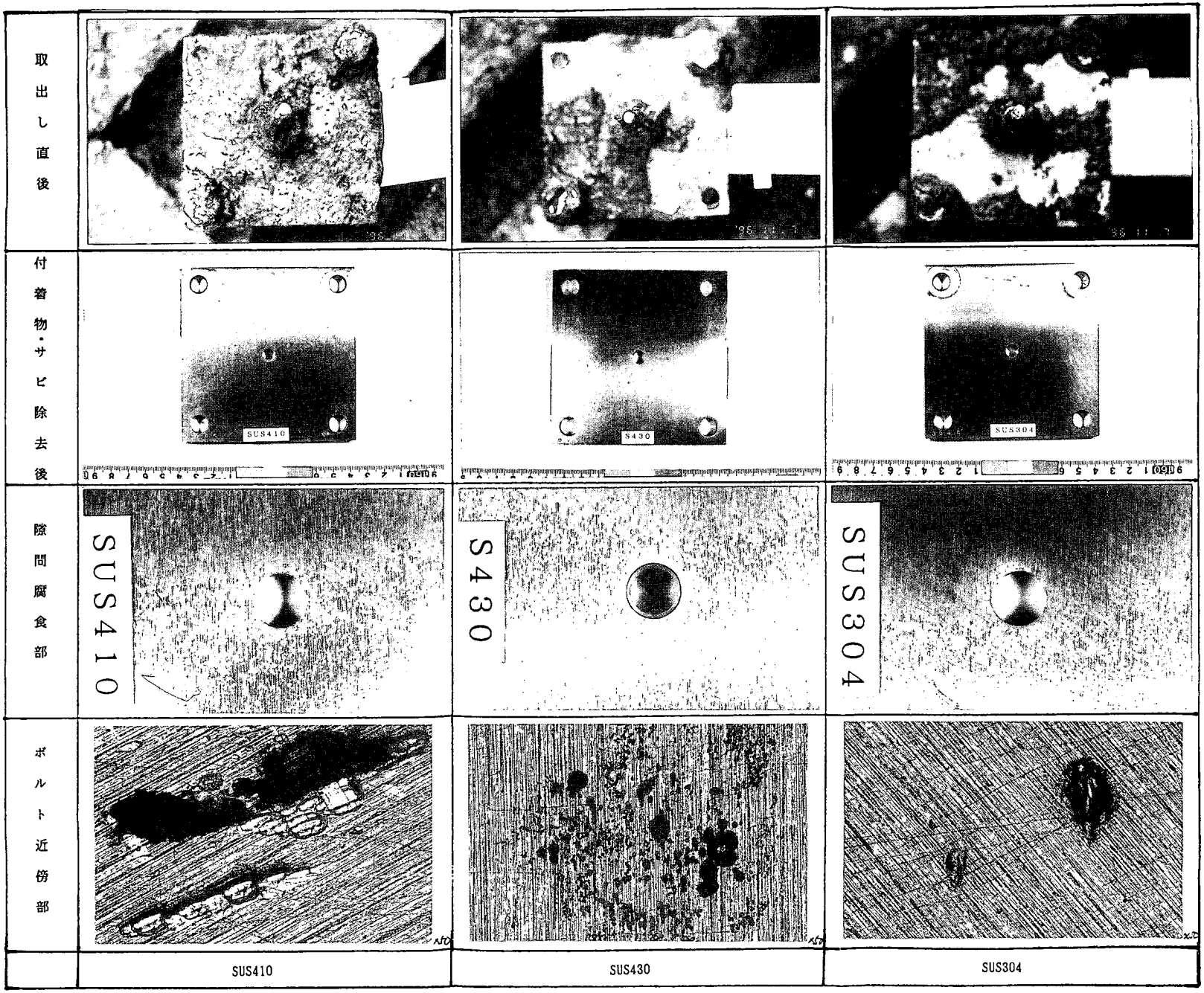


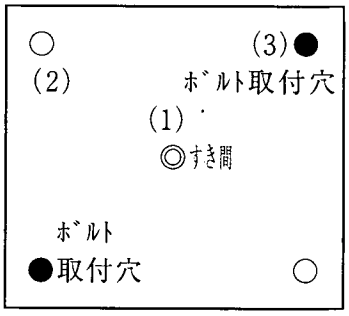
写真2.4.4　SUS410,430および304鋼のすき間腐食試験後の孔食発生状況
［七ヶ宿ダム湖，５年間暴露データ］

表2.4.5　すき間腐食試験片の電位測定結果

〔ＡＳＴＭ－７８法〕

鋼　種	暴　露 年　数 （年）	電　　位（mV vs Ag/AgCl）			備　　考
		すき間治具(1)	穴(2)	ボルト取付(3)	
SUS410	1	36.6	6.4	9.8	供試材No.5B-1
	2	154*(6.8)	113(59)	79(7.5)	供試材No.5B-3
	5	260*(234)	262(236)	259(234)	供試材No.5B-5
SUS430	1	360	351	340	供試材No.5B-1
	2	398*(295)	360(288)	369(242)	供試材No.5B-3
	5	452*(444)	452(443)	459(440)	供試材No.5B-5
SUS304	1	340	370	370	供試材No.5B-1
	2	358(326)	360(313)	348(290)	供試材No.5B-3
	5	434(403)	436(405)	429(399)	供試材No.5B-5

*（　　）：付着物を除去した電位



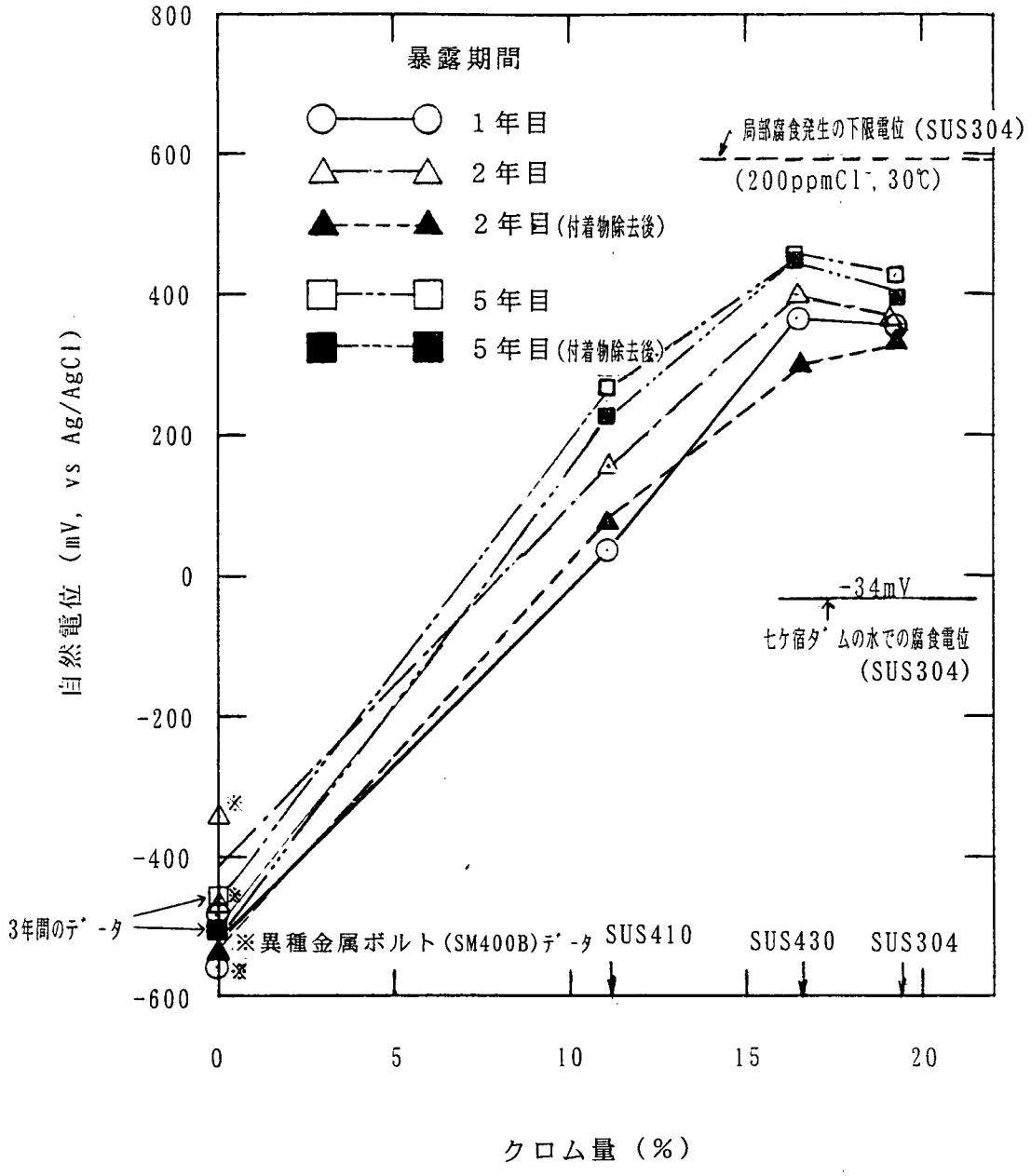


図2.4.4 すき間腐食試験片の自然電位(すき間治具)

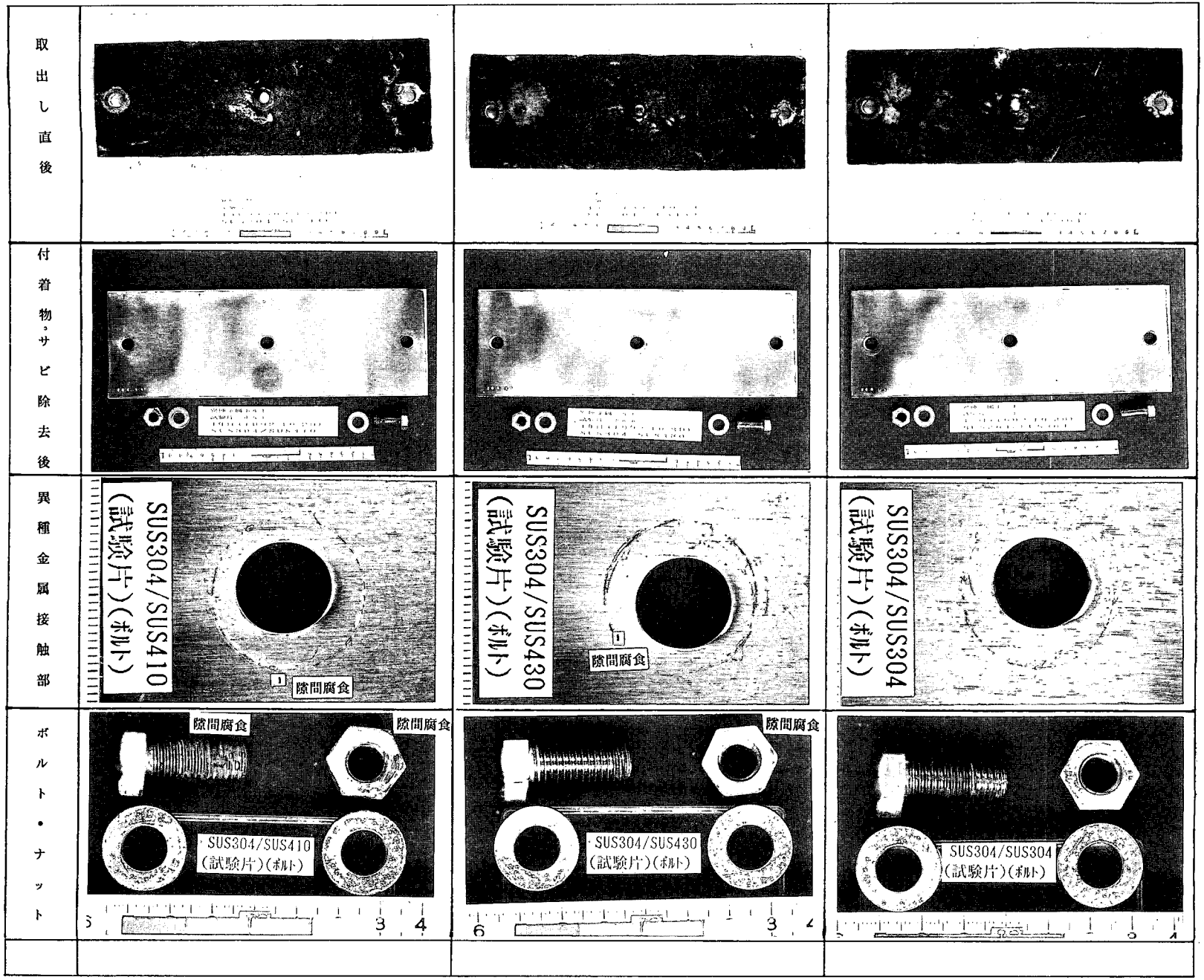


写真2.4.5　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況
［七が宿ダム湖，１年間暴露データ］

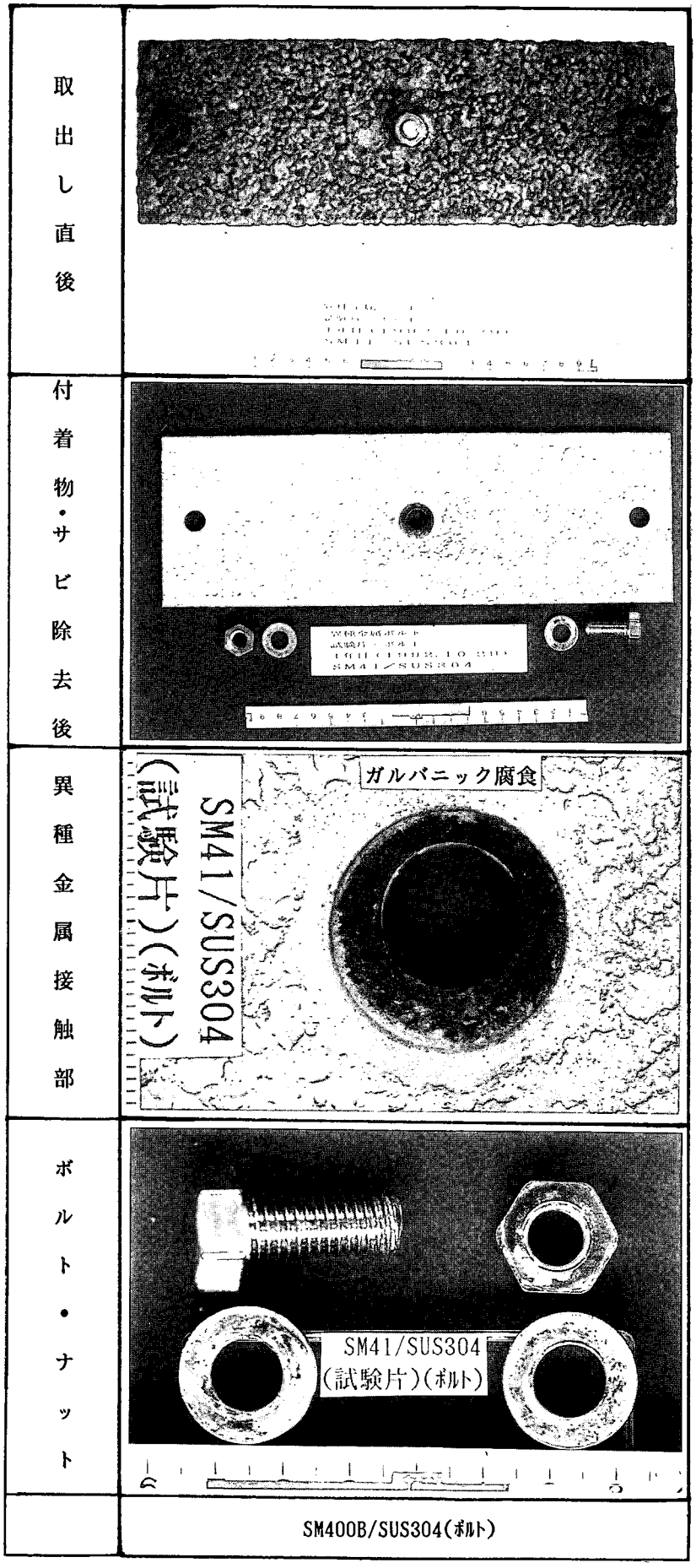


写真2.4.6　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況
［七が宿ダム湖，１年間暴露データ］

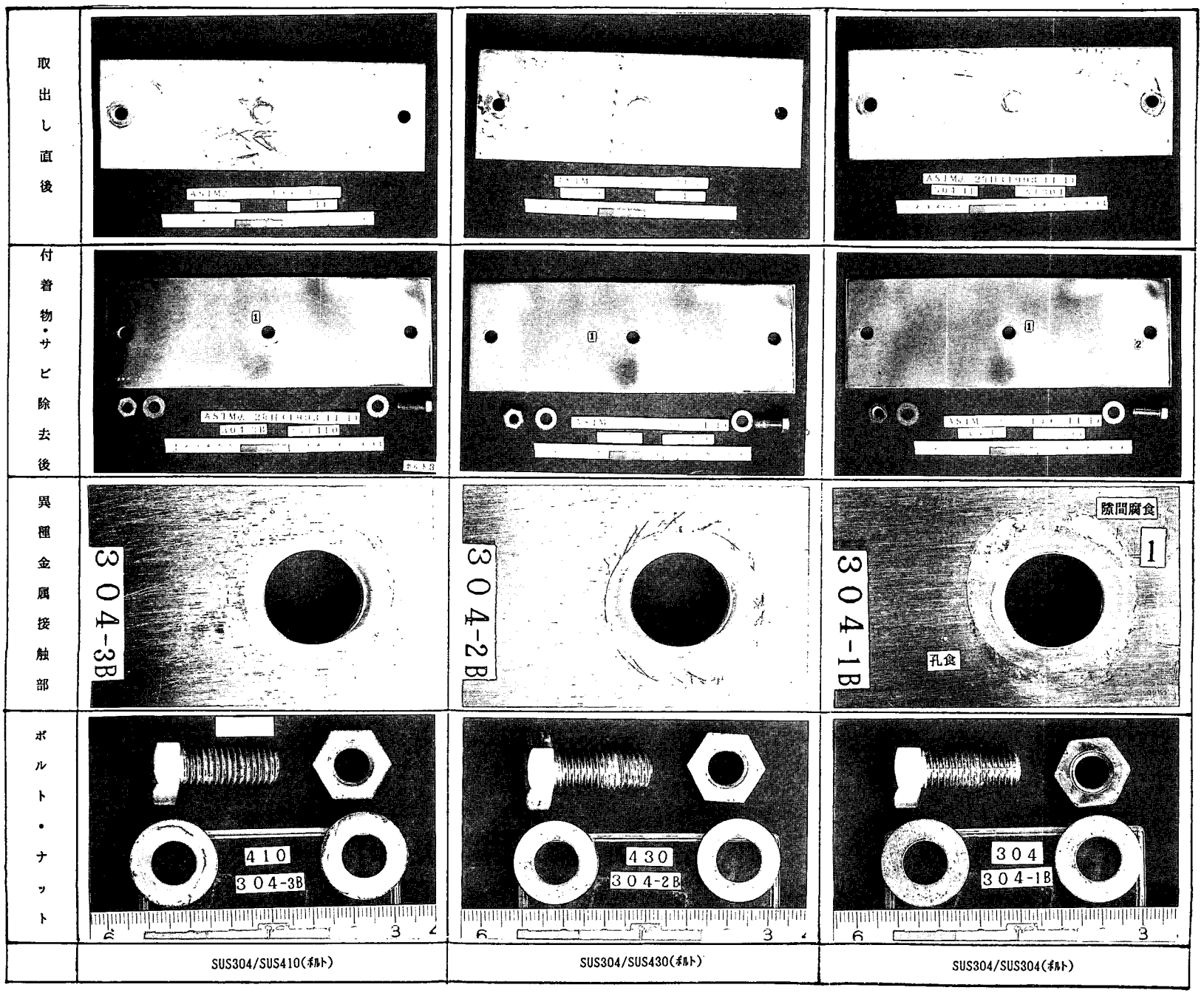


写真2.4.7　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況

［七が宿ダム湖，２年間暴露データ］

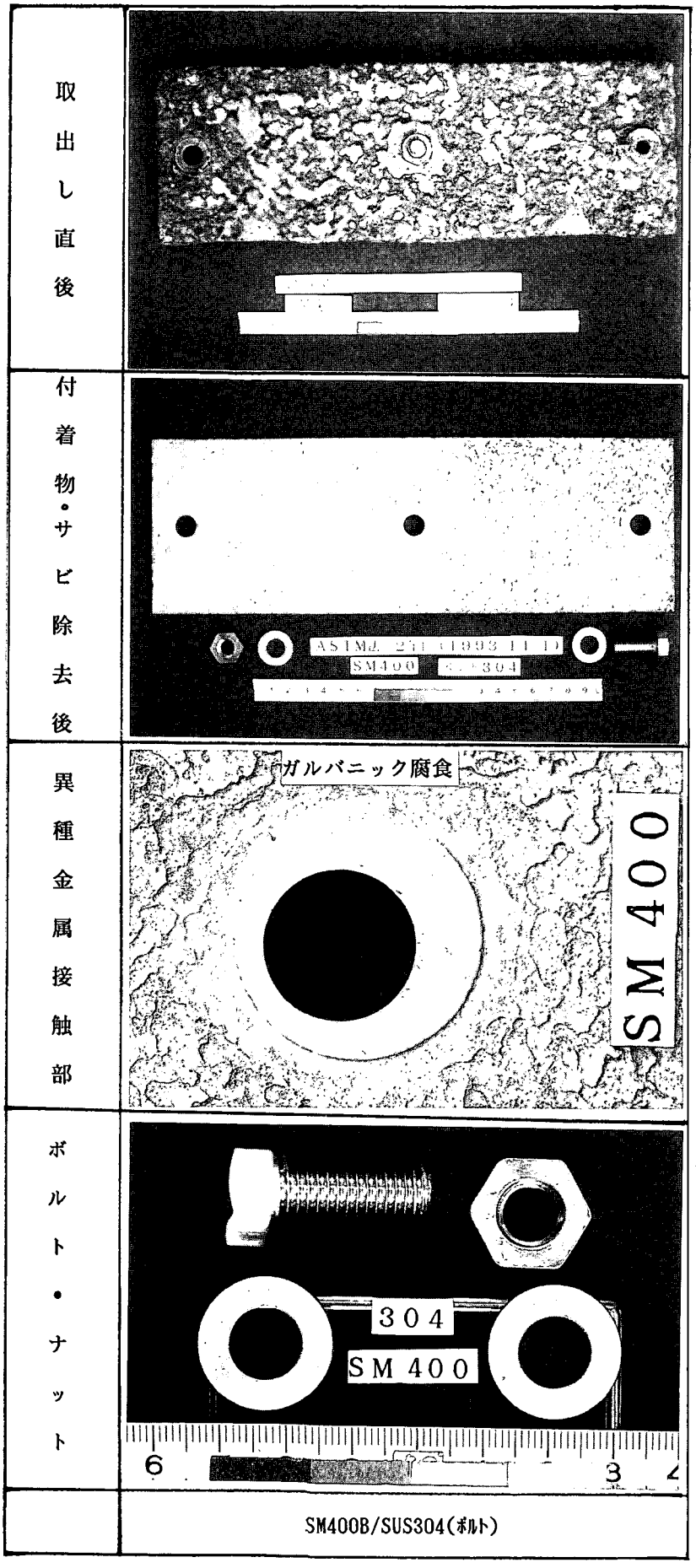


写真2.4.8　異種金属ボルトによるすき間腐食試験後の腐食状況

[七が宿ダム湖，２年間暴露データ]

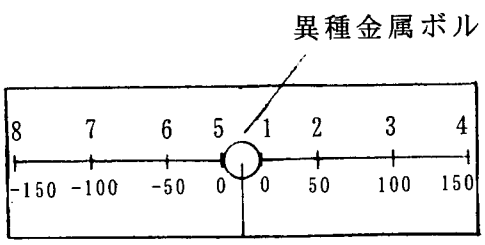
表2.4.6　異種金属腐食試験結果〔七ヶ宿ダム湖　1，2，5年間暴露〕

暴露年数	試験片	ワッシャー	ボルト・ナット	腐食状況				備考
				試験片	ワッシャ SUS304	ボルト	ナット	
1年間	SUS304	SUS304	SUS410	微小な隙間腐食発生	なし	腐食大	すき間腐食大	供試材 No.16
			SUS430	微小な隙間腐食発生	なし	なし	すき間腐食大	供試材 No.13
			SUS304	なし	なし	なし	なし	供試材 No.14
	SM400B		SUS304	凹凸状腐食	なし	なし	なし	供試材 No.17
2年間	SUS304	SUS304	SUS410	微小な隙間腐食発生	なし	腐食大	なし	供試材 No.6C-3
			SUS430	微小な隙間腐食発生	なし	なし	なし	供試材 No.6A-3
			SUS304	微小な隙間腐食発生	なし	なし	なし	供試材 No.6B-3
	SM400B		SUS304	凹凸状腐食	なし	なし	なし	供試材 No.6D-3
5年間	SUS304	SUS304	SUS410	すべて試験片は脱落して回収出来なかった。				
			SUS430					
			SUS304					
	SM400B		SUS304					

表2.4.7　異種金属ボルトによるすき間腐食試験片の電位測定結果

暴露年数	試験片	ﾎﾞﾙﾄ･ﾅｯﾄ材質	測定点，電位(mV vs Ag/AgCl)								備考
			① 0	② 50	③ 100	④ 150	⑤ 0	⑥ -50	⑦ -100	⑧ -150	
1年間	SUS304	SUS410	130	183	195	210	93	190	209	207	供試体16
		SUS430	340	340	341	315	320	330	333	330	供試体13
		SUS304	395	405	402	398	380	395	396	396	供試体14
	SM400B	SUS304	-564	-482	-512	-580	-565	-558	-549	-536	供試体17
2年間	SUS304	SUS410	177 (-6.7)	164 (-1.6)	153 (-1.2)	147 (-7.5)	94 (-74)	54 (-62)	93 (-58)	— —	供試体6C-3
		SUS430	395 (258)	400 (268)	377 (272)	382 (268)	346 (193)	345 (345)	328 (228)	— —	供試体6A-3
		SUS304	415 (303)	402 (291)	389 (293)	378 (298)	390 (198)	383 (190)	382 (244)	— —	供試体6B-3
	SM400B	SUS304	-570 (-546)	-347 (-385)	-390 (-429)	-330 (-535)	-476 (-420)	-402 (-501)	-391 (-386)	— —	供試体6D-3
5年間	SUS304	SUS410	すべての試験片は脱落して回収できなかった。								
		SUS430									
		SUS304									
	SM400B	SUS304									

(　　)：付着物除去後



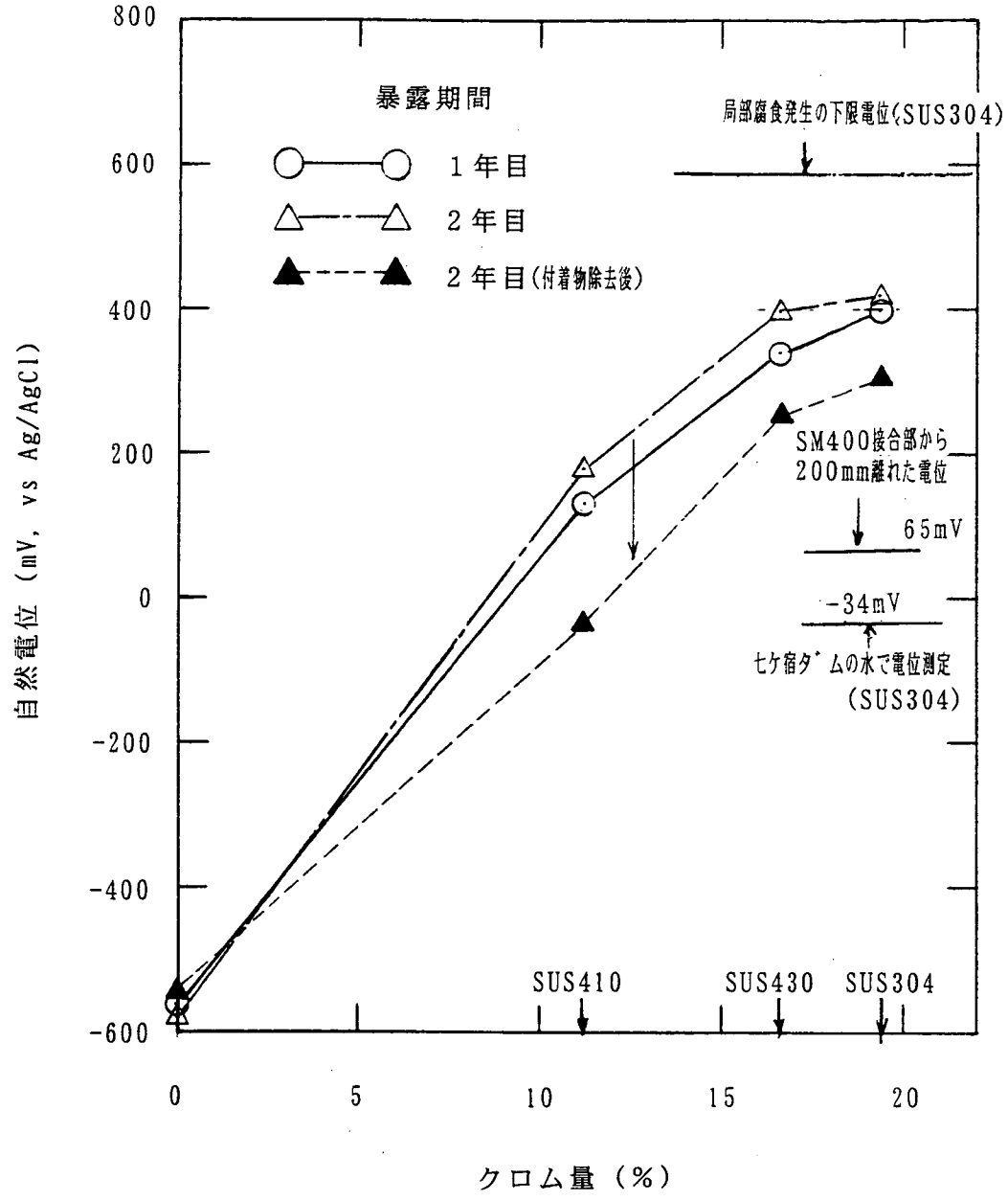


図2.4.5　異種金属ボルトによるすき間腐食試験片の自然電位

2．5すき間腐食試験(その2)

2．5．1目的

七ヶ宿ダム湖においてSUS410,SUS430およびSUS304の暴露試験を行っている。暴露1年後にすでにSUS410,SUS430はボルトに微小なすき間腐食が生じていた。このことから、さらに耐食性の優れたステンレス鋼SUS316L,SUS329J4Lおよびチタンの暴露試験を行うことにした。

溶接部は微生物腐食感受性が高いと言われているので、今回ＴＩＧ溶接を施したものを暴露した。また、比較のために溶接なし（母材）も合わせて暴露を開始した。

2．5．2試験条件

(1)供試材

供試材の化学組成を表2.5.1に、機械的性質を表2.5.2に示す。

表2.5.1　供試材の化学組成　（ｗｔ％）

鋼種	S	Ｓｉ	Ｍｎ	Ｐ	Ｓ	Ｎｉ	Ｃｒ	Ｍｏ	その他	板厚mm
SM400B	0.12	0.23	0.62	0.014	0.002	－	－	－		' 6
SUS410	0.06	0.42	0.31	0.022	0.007	0.11	12.21	－		' 5
SUS430	0.07	0.56	0.37	0.026	0.004	0.11	16.46	－		' 5
SUS444	0.006	0.14	0.13	0.028	0.005	－	18.75	1.81	0.129N-0.17Ti -0.32Nb	' 6
SUS304	0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	－		' 5
SUS316L	0.019	0.62	0.90	0.03	0.001	12.10	17.47	0.21		' 5
SUS329J4L	0.019	0.56	0.91	0.023	0.001	7.26	24.86	2.98	0.42Cu-0.29W -0.15N	' 5
ﾁﾀﾝ(Ti)	0.0006H-0.0950-0.005N-0.066Fe									' 5

表2.5.2　供試材の機械的性質

	引張試験			硬さ試験 (ロックウェルB)	曲げ試験 (１８０°)	溶体化温度
	0.2%耐力 (kgf/mm²)	引張強さ (kgf/mm²)	伸び (%)			
SM400B	※ 33.1	45.6	32.0			－
SUS410	34.0	49.0	30.0	87.0	良好	850℃X7HR
SUS430	30.0	46.0	34.0	82.0	良好	－
SUS444	38.1	52.2	33.9	89.0	良好	－
SUS304	33.0	64.0	52.0	86.0	－	1100℃X2.5minWC
SUS316L	31.5	60.1	51.0	82.0	－	1080℃WQ
SUS329J4L	60.4	81.5	29.0	※※23.0	－	1080℃WQ
ﾁﾀﾝ(Ti)	29.6	41.2	37.0	14.0	－	

※　：降伏点

※※：ロックウェルＢ

(2)試験片配置

七ヶ宿ダム湖における試験体の配置を図2.5.1に示す。

七ケ宿ダム湖暴露（その２）

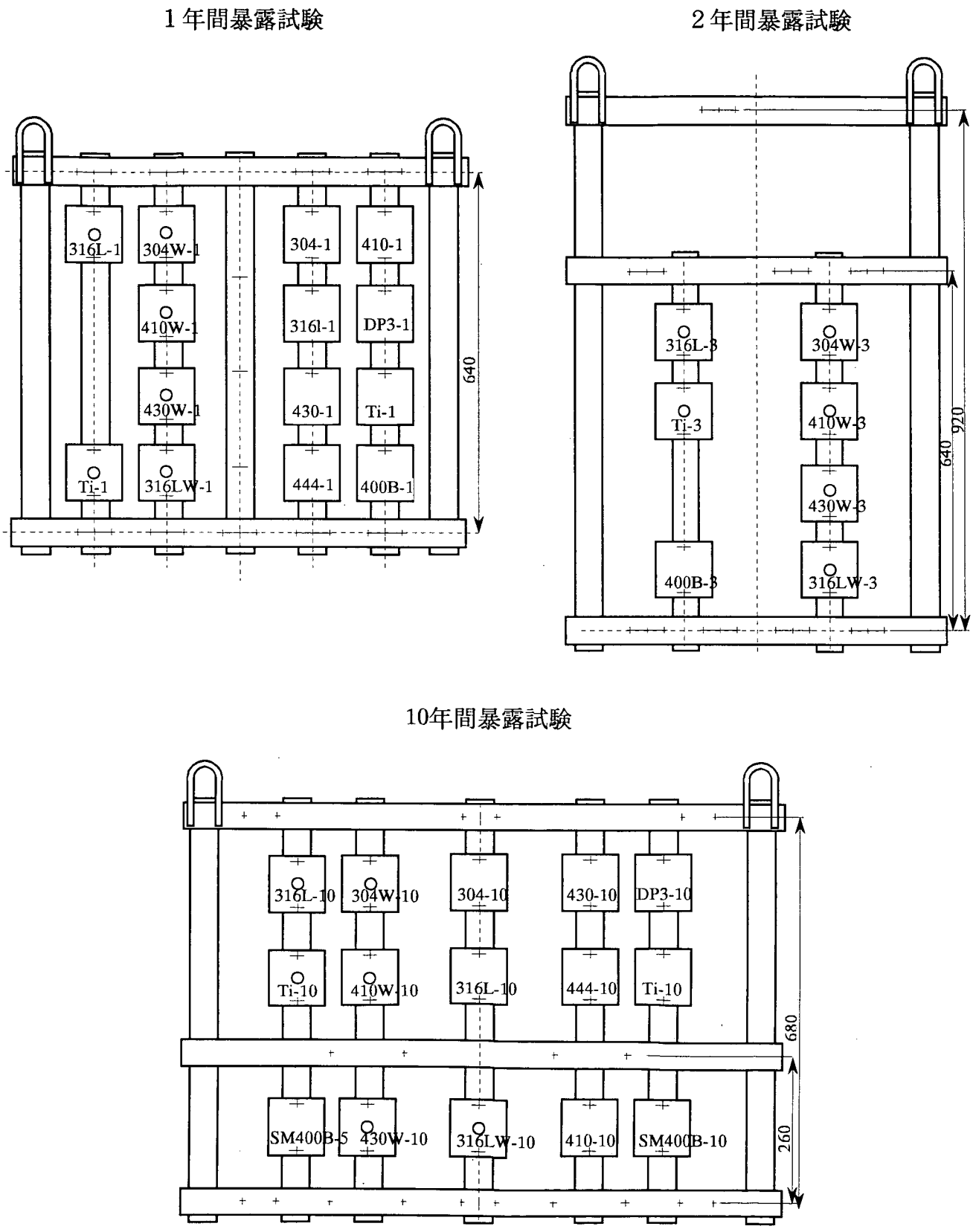
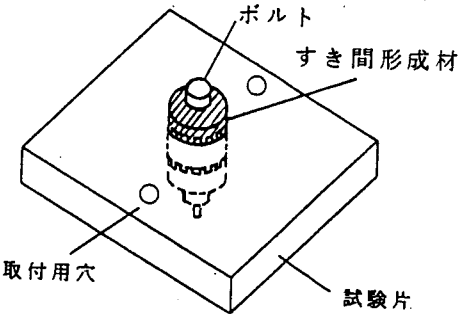


図2.5.1　試験体の配置（その2）

(3) 試験片形状

すき間腐食試験の暴露期間と鋼種マークとの関係を表2.5.3に示す。

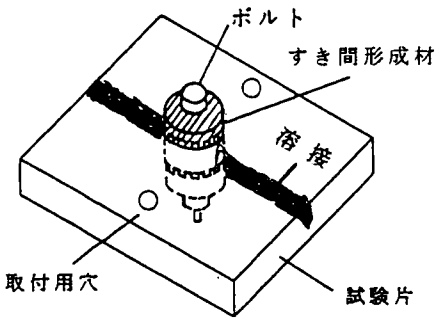
表2.5.3(1)　すき間腐食試験の暴露期間と鋼種マーク

試験片の種類		暴露期間(年)				試 験 片 形 状
		1	3	5	10	
7 type	すき間腐食試験片（ＡＳＴＭ法）					試　験　片
		●	●	○	○	ＳＵＳ３０４
		●	●	○	○	ＳＵＳ４１０
		●	●	○	○	ＳＵＳ４３０
		●	●	－	○	7A-1　316L-1　ＳＵＳ３１６Ｌ 7A-3　316L-3 7A-10 316L-10
		●	●	－	○	7B-1　Ti-1　　ﾁﾀﾝ(Ti)(JIS 第２種) 7B-3　Ti-3 7B-10 Ti-10

●：回収調査済み

○：暴露試験中

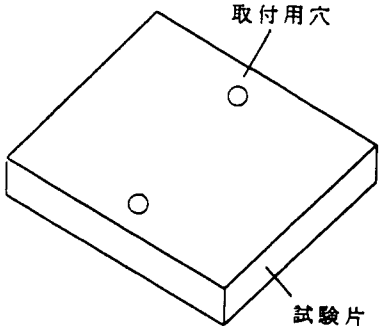
表2.5.3(2)　溶接部を含むすき間腐食試験の暴露期間と鋼種マーク

試験片の種類		暴露期間(年)				試 験 片 形 状
		1	3	5	10	
8 type	すき間腐食試験片（ＡＳＴＭ法）					試　験　片
		●	●	—	○	8A-1　304W-1　　ＳＵＳ３０４ 8A-3　304W-3 8A-10 304W-10
		●	●	—	○	8B-1　410W-1　　ＳＵＳ４１０ 8B-3　410W-3 8B-10 410W-10
		●	●	—	○	8C-1　430W-1　　ＳＵＳ４３０ 8C-3　430W-3 8B-10 430W-10
		●	●	—	○	8D-1　316LW-1　　ＳＵＳ３１６Ｌ 8D-3　316L-3 8D-10 316LW-10

●：回収調査済み

○：暴露試験中

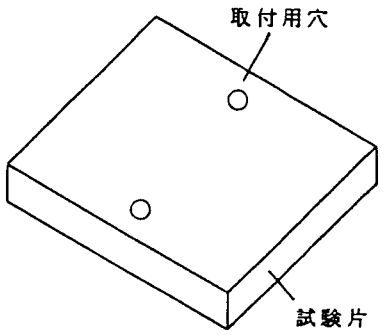
表2.5.3(3)　腐食速度および微生物腐食試験の暴露期間と鋼種マーク

試験片の種類		暴露期間(年)				試 験 片 形 状
		1	3	5	10	
9 type	腐食速度評価試験及び微生物腐食試験					試　験　片
		●	●	○	○	9A-1　400B-1　　ＳＭ４００Ｂ 9A-3　400B-3 9A-5　400B-5 9A-10　400B-10
		●	—	—	○	9B-1　304-1　　ＳＵＳ３０４ 9B-10　304-10
		●	—	—	○	9C-1　316L-1　　ＳＵＳ３１６Ｌ 9C-10　316L-10
		●	—	—	○	9D-1　430-1　　ＳＵＳ４３０ 9D-10　430-10
		●	—	—	○	9E-1　444-1　　ＳＵＳ４４４ 9E-10　444-10
		●	—	—	○	9F-1　444-1　　ＳＵＳ４４４ 9E-10　444-10
		●	—	—	○	9F-1　410-1　　ＳＵＳ４１０ 9F-10　410-10

●：回収調査済み

○：暴露試験中

表2.5.3(4)　腐食速度および微生物腐食試験の暴露期間と鋼種マーク

試験片の種類		暴露期間(年)				試 験 片 形 状
		1	3	5	10	
						試　験　片
9 type	腐食速度評価試験 及び 微生物腐食試験	●	—	—		9G-1　DP3-1　　ＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌ
					○	9G-10 DP3-10
		●	—	—		9F-1　Ti-1　　ﾁﾀﾝ(Ti)(JIS 第２種)
					○	9H-10 Ti-10

●：回収調査済み

○：暴露試験中

1)すき間腐食試験

①試験法：ＡＳＴＭ　Ｇ－７８法

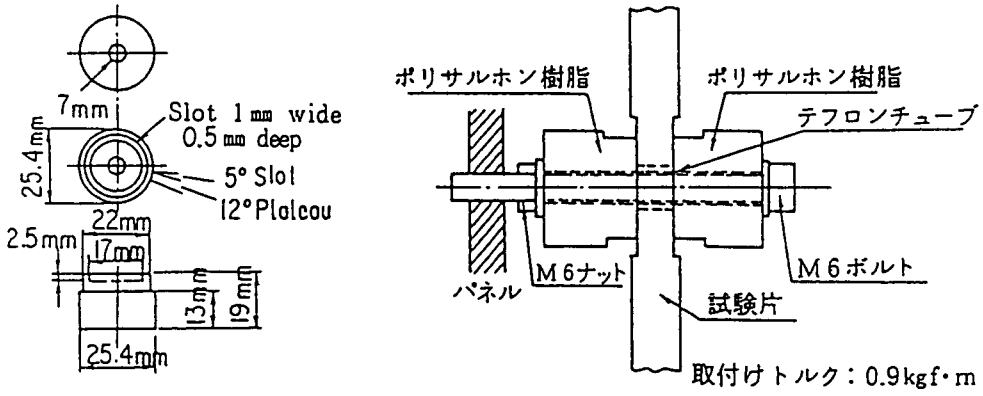
②供試材：ＳＵＳ４１０，ＳＵＳ４３０，ＳＵＳ３０４，ＳＵＳ３１６Ｌ
ＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌ，チタン(Ｔｉ)

③試験片形状：１００mm×１００mm×‘５．０mm

④すき間の形成材および試験片装置：下記の図参照

⑤表面仕上げ：全面湿式研磨６００番仕上げ

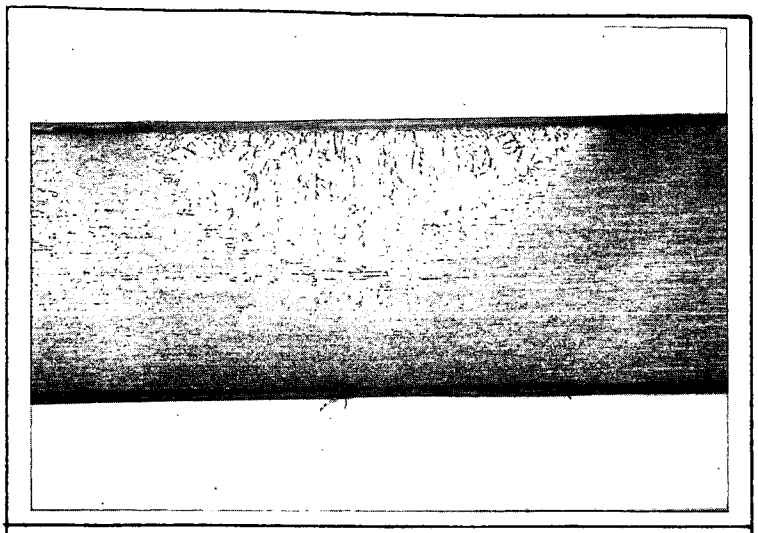
⑥ＴＩＧ溶接条件：１２Ｖ，１００Ａ，１０cm/min（溶接速度）アルゴンシール実施



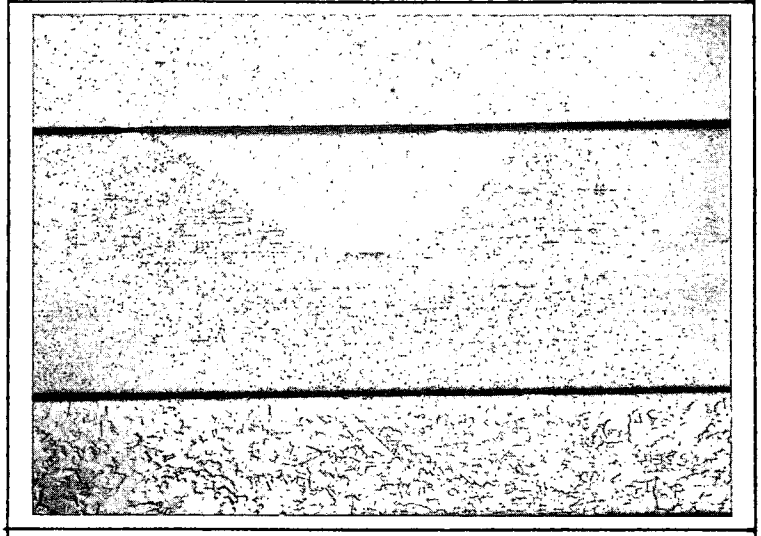
すき間形成材およびすき間腐食試験片装置状況図

2)溶接による溶け込み

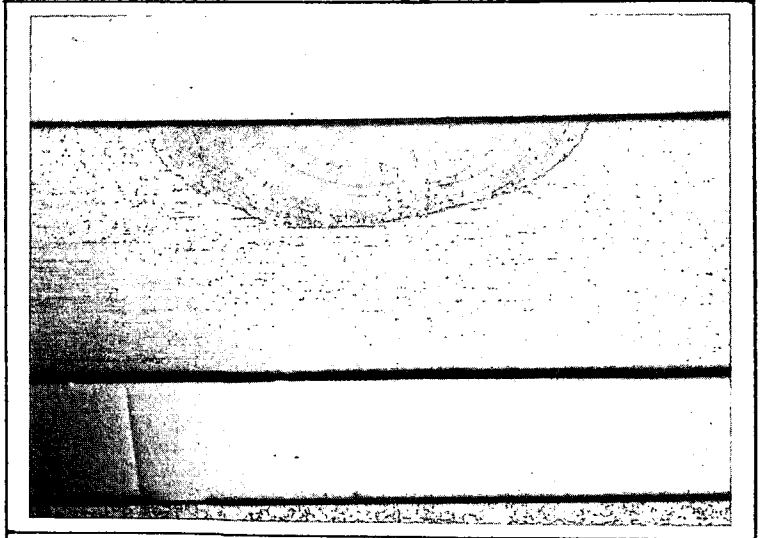
写真2.5.1は各鋼種の溶接部マクロ組織を示す。溶け込み量は板厚の約５０％である。



SUS410



SUS304



SUS316L

写真2.5.1　各種鋼の溶接マクロ組織（８倍）

（溶接条件100A, 10cm/min, 12V）

２．５．３調査項目

(1)外観観察

1)回収直後の外観観察，写真撮影

2)普通鋼の腐食状況，ステンレス鋼およびチタン表面への錆の付着状況，藻の色および付着状況

(2)すき間腐食状況

1)すき間部およびすき間外の腐食状況および腐食深さ測定

2)すき間以外での孔食発生状況および孔食深さ測定

(3)自然電位測定

現場での水洗い前後の自然電位測定

２．５．４調査結果

(1)外観観察

1)１年間暴露試験結果

暴露試験前の試験片の取付状況を写真2.5.2に示す。

写真2.5.3に暴露１年間の全面腐食およびすき間腐食試験の腐食状況を示す。

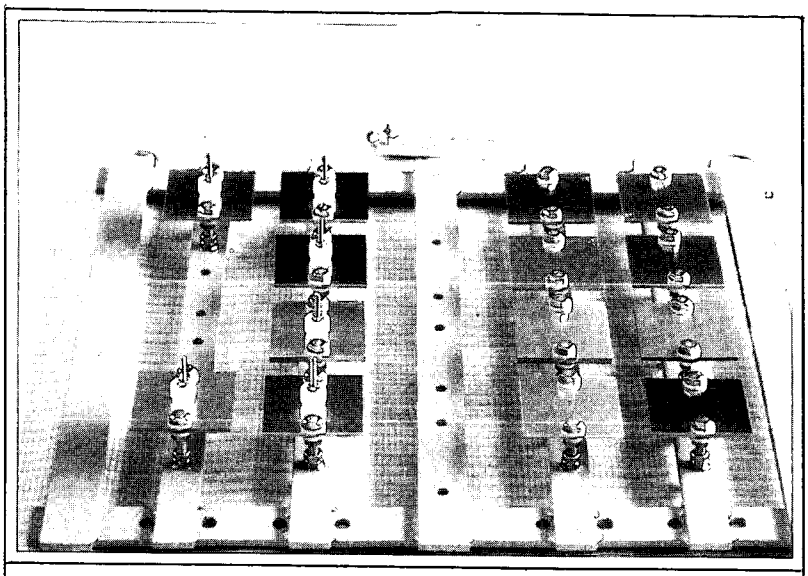
各種ステンレス鋼，チタンおよびボルダーには黄色の藻が生息していた。しかし、SM400Bは藻が付着していなく、赤錆で全面が覆われていた。

水洗い後の各種ステンレス鋼，チタンおよびSM400Bの腐食状況を写真2.5.4～2.5.5に示す。

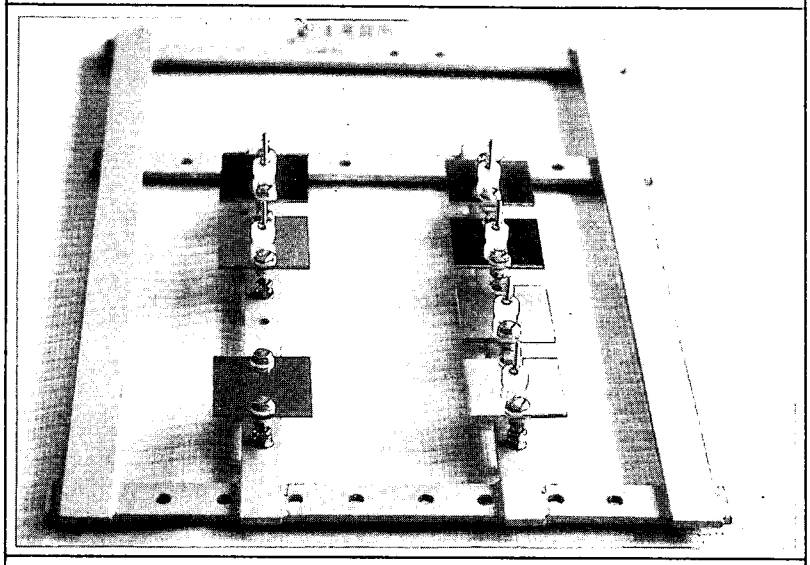
2)３年間暴露試験結果

写真2.5.6～2.5.7に暴露３年間のすき間腐食試験およびSM400Bの腐食状況を示す。

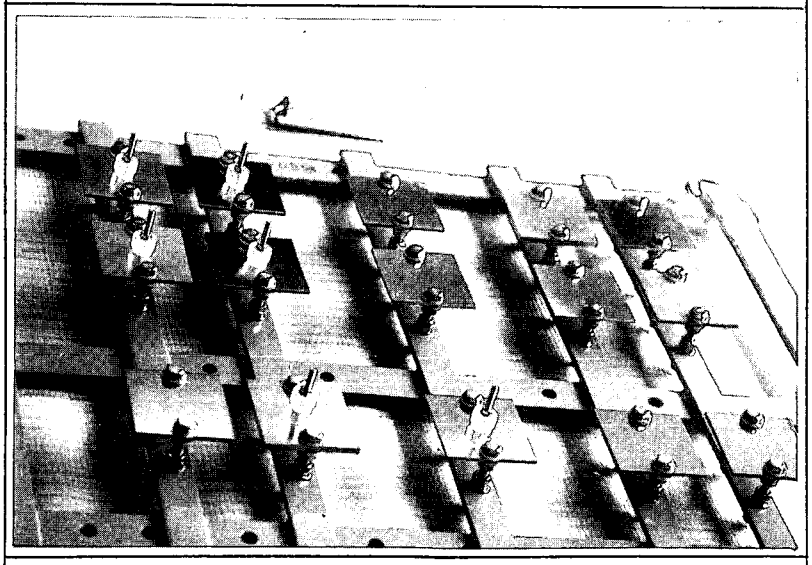
藻の付着は１年間と同様に、各種ステンレス鋼,チタンおよびボルダーの全面に付着していた。しかし、SM400Bは赤錆で全面が覆われているために、藻の付着が少ない。藻は青緑色であった。



1年間暴露

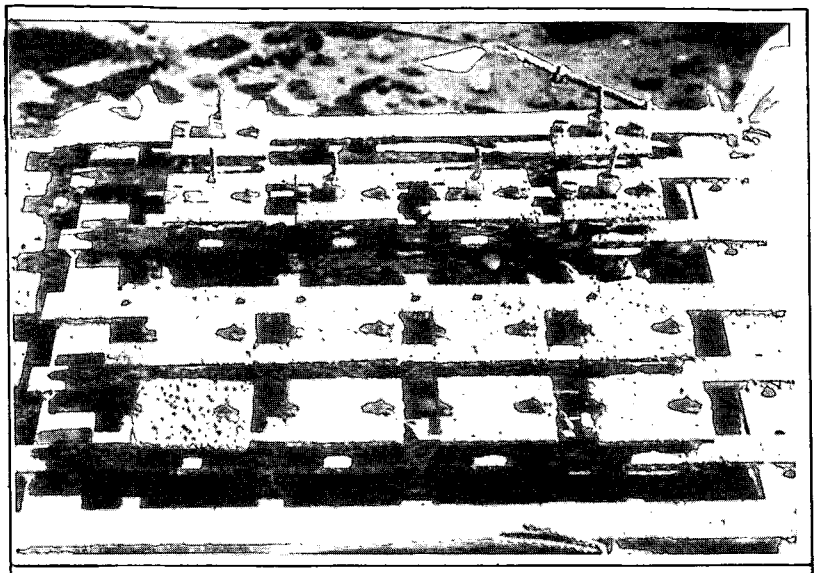


3年間暴露

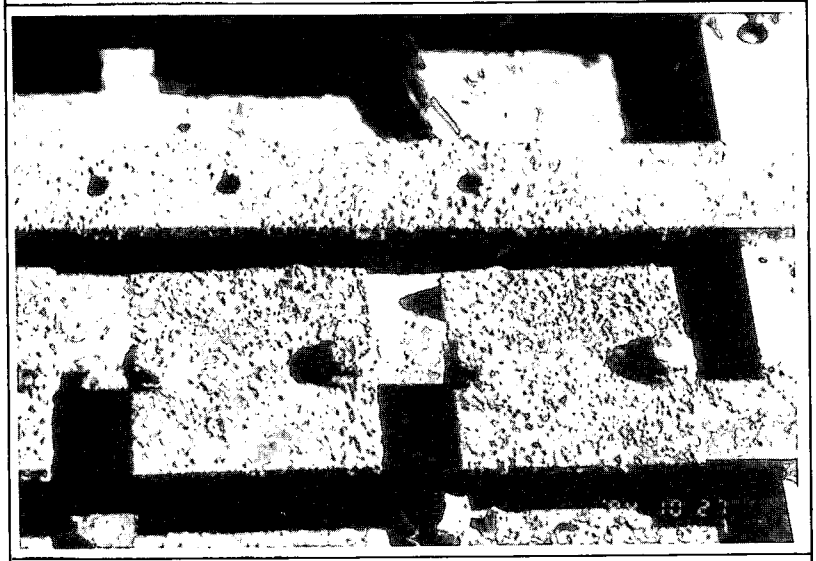


10年間暴露

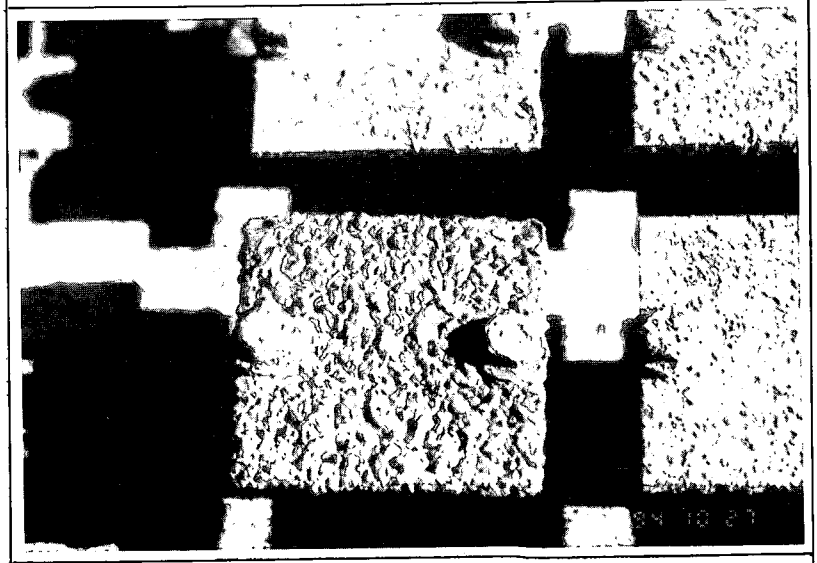
写真2.5.2　1,3,10年間暴露試験前の取付状況（その2）



全面腐食および隙間腐食試験片



ステンレス全面腐食試験片(316L-1,304-1)



SM４００Bの全面腐食試験片

写真2.5.3　取出し直後の各種暴露試験片の腐食状況（１年間）

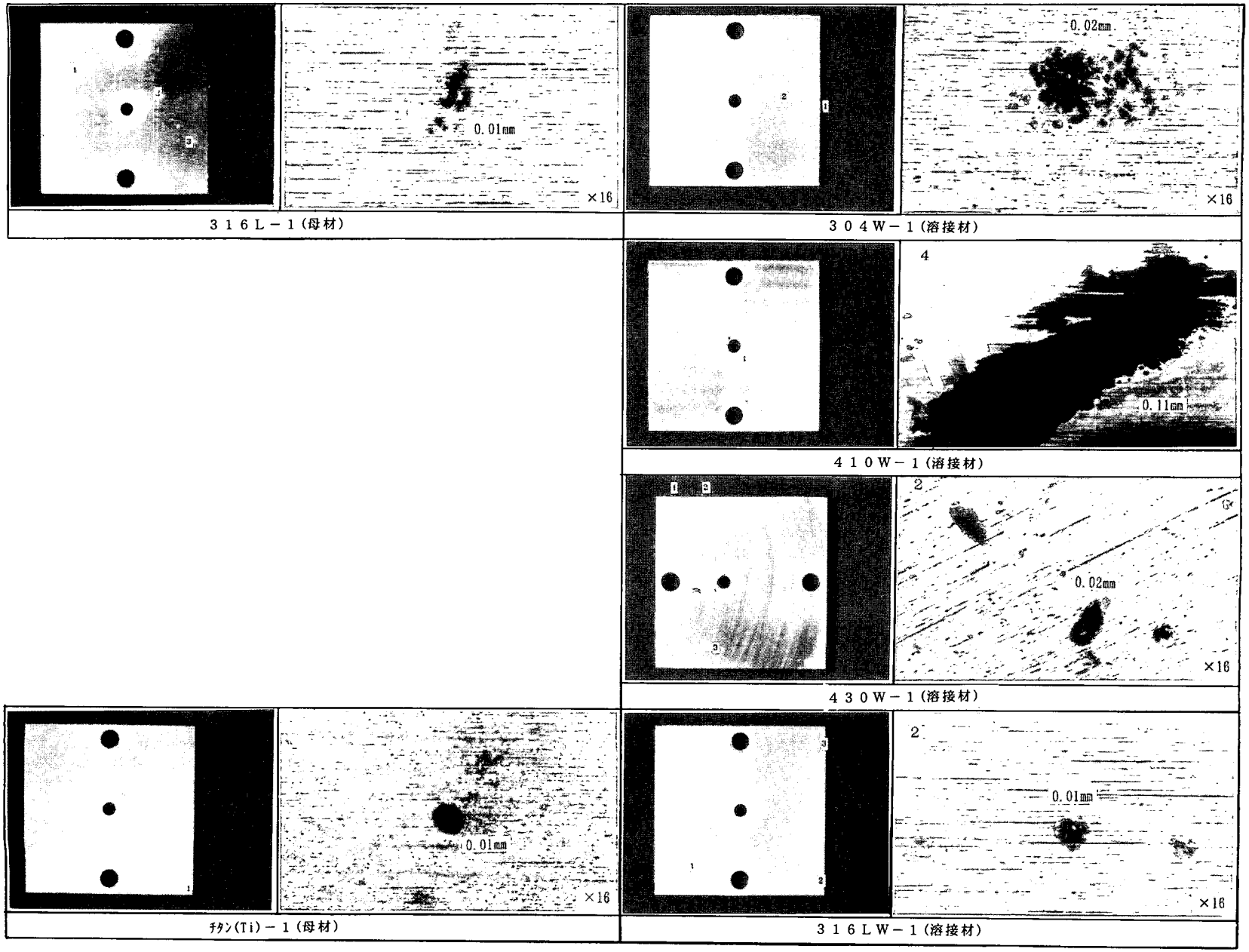


写真2.5.4　SUS316Lのすき間腐食試験後の腐食状況
［七ヶ宿ダム湖，１年間暴露Ｈ５年１１月２日～Ｈ６年１０月２８日］

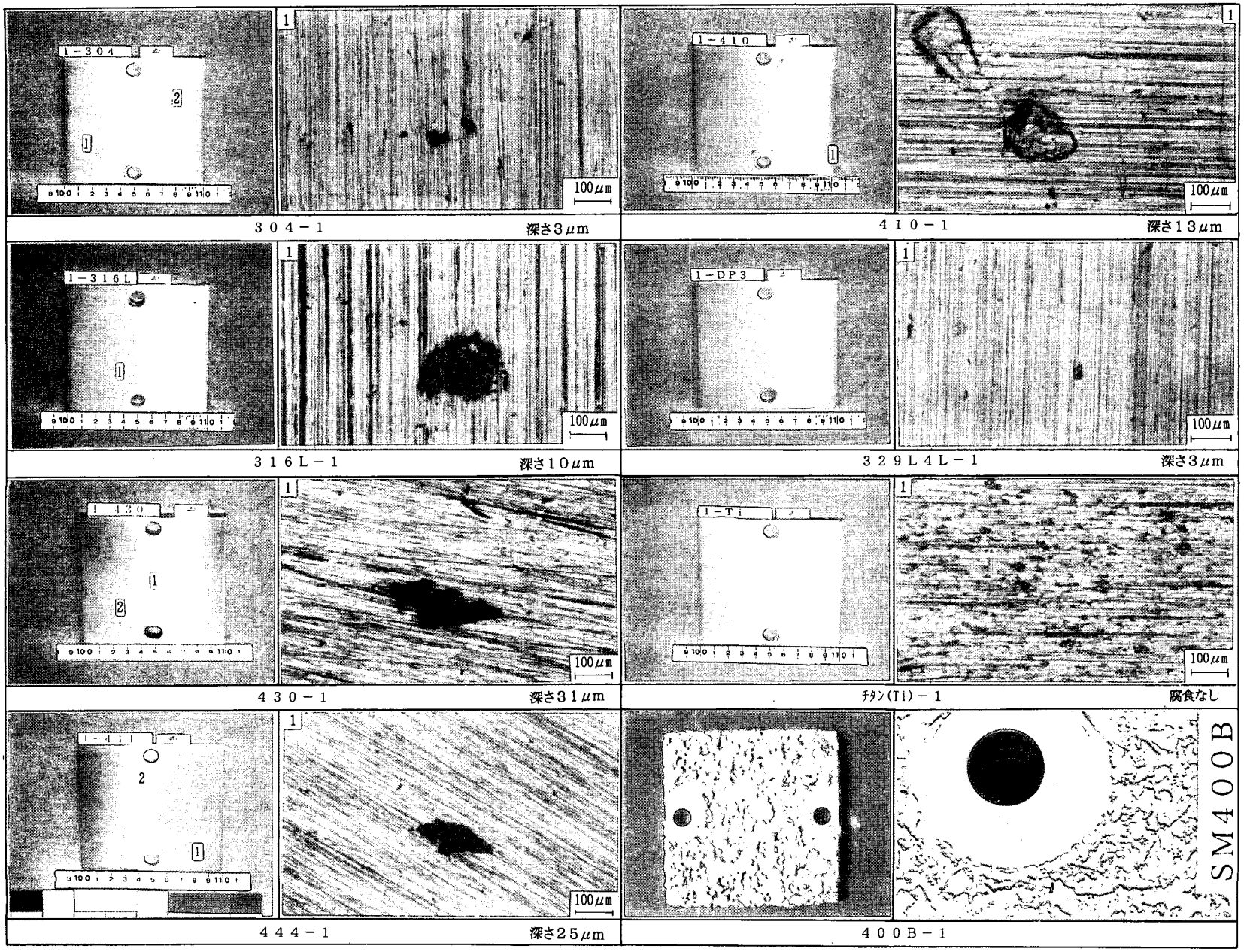
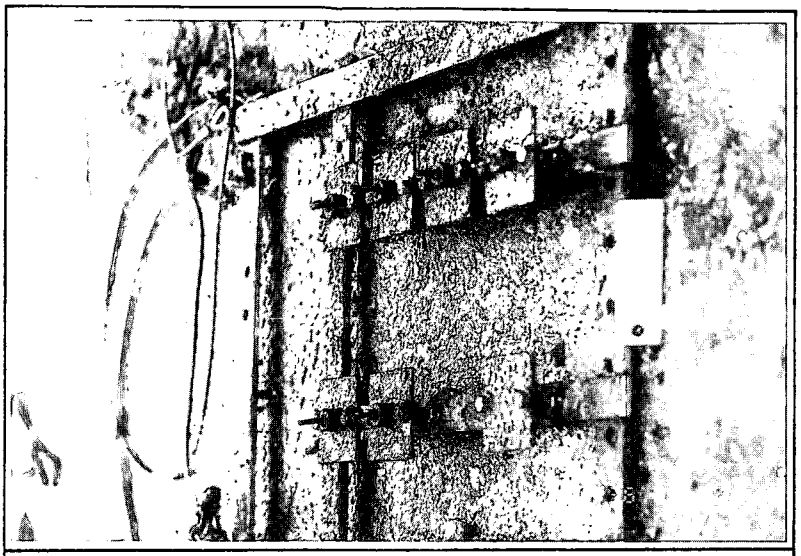
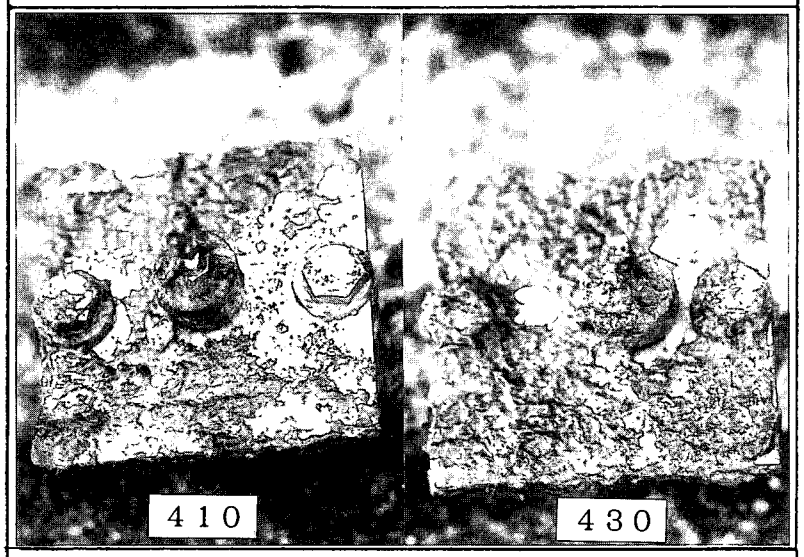


写真2.5.5　暴露試験後の腐食状況　　[七ケ宿ダム，1年間浸漬　H5年11月2日～H6年10月28日]



全面腐食および隙間腐食試験片



ステンレス隙間腐食試験片(410W-3, 430W-3)



ＳＭ４００Ｂの全面腐食試験片

写真2.5.6　取出し直後の各種暴露試験片の腐食状況

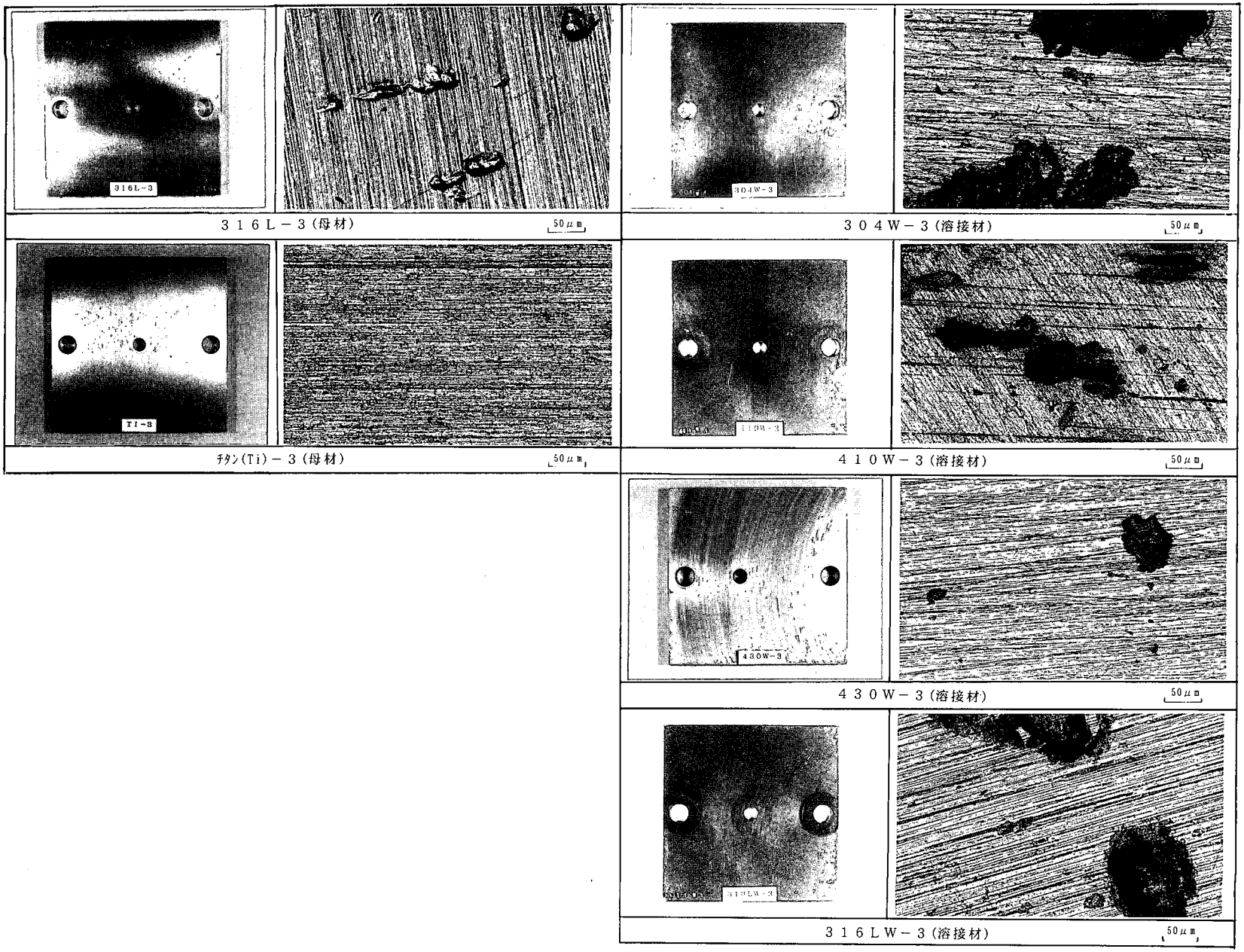


写真2.5.7　すき間腐食試験後の腐食状況
［七ヶ宿ダム湖，３年間暴露，H5年11月2日～H8年11月7日］

(2)孔食・すき間腐食状況

1)表2.5.4は各種ステンレス鋼の１年間暴露試験後のすき間腐食試験結果を示す。すき間形成材取付位置においては、すき間腐食は発生しなかった。しかし、一部のステンレス鋼においてＦＲＰ絶縁ワッシャ下ですき間腐食が発生していた。また、一般部（母材）でも微小な孔食も発生していた。

特に、クロムの少ないSUS410,SUS430では、絶縁ワッシャ下での腐食発生があり、また一般部では孔食が発生し、その深さは0.07mm以上であった。SUS304およびSUS316Lはすき間腐食が発生していなかったが、極くわずかな孔食が0.02mm発生していた。したがって、クロム量が１８％以上になると耐食性に優れていた。

いずれのステンレス鋼も全面腐食速度が2×10^{-4}g/m^{2}h(2.2×10^{-4}mm/年)で非常に耐全面腐食性に優れている。

2)表2.5.5は各種ステンレス鋼の３年間暴露試験後のすき間腐食試験結果を示す。いずれのステンレス鋼においてもすき間形成材取付部ではすき間腐食が発生しなかった。この腐食の傾向は１年間暴露試験結果とまったく同じであった。

しかし、一部のステンレス鋼において、一般部で、クロムの少ないSUS410は0.06mmの深さの孔食が発生した。SUS430,SUS304およびSUS316Lはいずれもすき間腐食が発生しなかった。しかし、微細な孔食が発生していたが、その深さはわずか0.01mmであった。したがって、１年間でもわずかな孔食が発生したが、七ヶ宿ダム湖の環境下では藻が付着して自然電位が非常に高くなっているのもかかわらず孔食が進展しなかったものと推測される。

一方、いずれのステンレス鋼も全面腐食速度が1×10^{-4}g/m^{2}h(1.1×10^{-4}mm/年)で、非常に耐全面腐食性に優れている。

チタンは耐孔食性・すき間腐食性に優れていることから、化学工業のプラント機器（熱交換器，反応容器等）および海洋構造物等に使用されている。

チタンは１年間暴露試験で、0.01mmの深さの極くわずかな孔食が生じていた。しかし、３年間暴露試験では孔食が発生していなかった。この孔食発生原因として考えられるのは、七ヶ宿ダム湖は流れがなく、藻や微生物により自然電位が上昇するなど気象変化により微細な孔食が発生したものと考えられる。

表2.5.4　各種ステンレス鋼のすき間腐食試験結果（その２）

［　七ヶ宿ダム湖１年間暴露　］

鋼種	マーク	溶接有無	すき間腐食深さ(mm)		孔食深さ(mm)	すき間腐食の発生率(%)
			ﾎﾟﾘｻﾙﾎﾝ樹脂	FRPとのすき間		
SUS316L	7A-1	無	無	無	0.01	0
ﾁﾀﾝ(Ti)	7B-1	無	無	無	0.01	0
SUS410	8B-1	有	無	0.01	0.11,0.02	0
SUS430	8C-1	有	無	<0.01	0.07,0.02	0
SUS304	8A-1	有	無	無	0.02,0.01	0
SUS316L	8D-1	有	無	無	0.01	0

表2.5.5　各種ステンレス鋼のすき間腐食試験結果（その２）

［　七ヶ宿ダム湖３年間暴露　］

鋼種	マーク	溶接有無	すき間腐食深さ(mm)		孔食深さ(mm)	すき間腐食の発生率(%)
			ﾎﾟﾘｻﾙﾎﾝ樹脂	FRPとのすき間		
SUS316L	7A-3	無	無	無	0.01	0
ﾁﾀﾝ(Ti)	7B-3	無	無	無	無	0
SUS410	8B-3	有	無	0.02	0.06,0.04	0
SUS430	8C-3	有	無	無	<0.01	0
SUS304	8A-3	有	無	無	0.01	0
SUS316L	8D-3	有	無	無	<0.01	0

(3)自然電位測定

表2.5.6および図2.5.1に各種材料の七ヶ宿ダム湖暴露試験1年経過後の自然電位測定結果を示す。

付着物除去前（そのまま）の自然電位について、SM400Bは-557mVで卑の電位であるが、 SUS410, SUS430およびチタンの自然電位は10～171mVであった。SUS444, SUS304, SUS316LおよびSUS329J4Lの自然電位は約300mV以上であった。

一方、母材試験片と溶接部すき間腐食試験片の母材およびすき間部の各種材料の電位はほぼ同じであった。また、同じすき間付で溶接有無でも電位は変化がなく、ほぼ同じであった。付着物を除去すると各種材料の自然電位が下がる。

表2.5.7と図2.5.2に各種材料の七ヶ宿ダム湖暴露試験2年経過後の自然電位結果を示す。
付着物除去前（そのまま）の自然電位について、SM400Bは3年後の自然電位が-457mVであった。その値は1年間と較べて約100mV貴側になっている。SUS410の自然電位は1年間の値とほぼ同じ値であった。SUS430の自然電位は1年間よりも約220mV高くなっていた。SUS304は逆に約240mV低くなっている。SUS316Lとチタンは1年間とあまり変化がなかった。

溶接部すき間腐食試験片の母材部とすき間部の自然電位はほとんど同じ値を示した。

この電位変動については藻の発生状況，生成などの天候に左右されるものと考えられるので、自然電位の経時変化を調べることが重要と考えられる。

付着物を除去するといずれの材料の自然電位が下がる。この傾向は1年間のデータでも同じであった。このことから藻の付着により自然電位が上昇することがわかった。

表2.5.6(1)　七ヶ宿ダム湖暴露試験１年経過後の電位測定結果（その２）
［Ｈ５年１１月２日～Ｈ６年１０月２８日］

（単位：mV　vsAg/AgCl）

No	記号	鋼種	形状	番号	水洗い後（付着物除去直後）	1.5時間後	3.0時間後	そのまま（付着物除去前）
1	7A-1	SUS316L	すき間腐食	①	233	269	256	367
				②	235	261	255	353
				③	235	261	253	348
				④	233[234](196)	260	253	346[354](315)
				すき間	231　(193)	263	248	360　(322)
2	7B-1	ﾁﾀﾝ(Ti)	すき間腐食	①	-97	-77	-63	71
				②	-90	-66	-58	49
				③	-89	-71	-62	40
				④	-88[-91](-130)	-66	-62	35[49](10)
				すき間	-90　(-129)	-68	-67	78 65 70[71](32.5)
3	8A-1	SUS304	溶接部すき間腐食	①	234	256	263	379
				②	235	259	261	355
				③	233	256	261	352
				④	239[235](197)	257	259	353[368](329)
				すき間	232　(194)	258	251	369　(331)
4	8B-1	SUS410	溶接部すき間腐食	①	118	163	175	221
				②	117	154	170	154
				③	113	152	171	138
				④	117[116](78)	151	160	126[160](121)
				すき間	106　(68)	142	150	236 183 209 193[205](171)
5	8C-1	SUS430	溶接部すき間腐食	①	-34	130	30	152
				②	-29	127	30	41
				③	-31	123	29	26
				④	-29[531](-69)	113	25	12[58](19)
				すき間	-31　(-70)	105	20	118 123 93[111](73)
6	8D-1	SUS316L	溶接部すき間腐食	①	240	260	235	338
				②	241	266	237	300
				③	245	261	235	296
				④	245[243](204)	263	230	292[307](268)
				すき間	245　(207)	258	226	347　(309)
7	9A-1	SM400B	母材	①		-455	-401	-573
				②		-310 -504※	-409	-559
				③		-399	-415	-498
				④		-416	-421	-441[-518](-557)
				すき間				
8	9B-1	SUS304	母材	①	242	263	247	371
				②	244	257	250	370
				③	243	255	250	370
				④	243[243](205)	258	248	368[370](331)
				すき間				
9	9C-1	SUS316L	母材	①	225	283	263	416
				②	227	281	263	415
				③	227	278	262	413
				④	227[227](188)	283	261	398[411](372)
				すき間				
10	9D-1	SUS430	母材	①	45	41	21	106
				②	51	58	43	110
				③	53	61	43	105
				④	54[51](12)	61	40	101[106](67)
				すき間				

注：Ag/AgClの電位に-38.5mVを加えるとSCEの電位に換算出来る。

※：錆除去後　　[　]：平均値　　(　)：ＳＣＥ

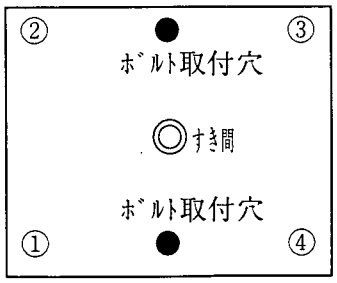
表2.5.6(2)　七ヶ宿ダム湖暴露試験１年経過後の電位測定結果（その２）

［Ｈ５年１１月２日～Ｈ６年１０月２８日］

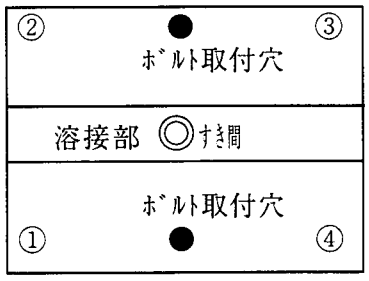
（単位：mV　vsAg/AgCl）

No	記号	鋼種	形状	番号	水洗い後（付着物除去直後）	1.5時間後	3.0時間後	そのまま（付着物除去前）
11	9E-1	SUS444	母材	①	251	265	266	385
				②	254	267	263	376
				③	252	264	264	365
				④	255[253](215)	264	258	343[367](329)
				すき間				
12	9F-1	SUS410	母材	①	-17		71	151
				②	-13		70	144
				③	-18		69	137
				④	-18[-17](-55)		66	126[140](101)
				すき間				
13	9G-1	SUS329J4L	母材	①	169	190	184	375
				②	174	185	183	372
				③	171	183	182	369
				④	171[171](133)	180	177	361[370](331)
				すき間				
14	9H-1	ﾁﾀﾝ(Ti)	母材	①	-104	-103	-90	143
				②	- 99	-102	-88	140
				③	- 97	-103	-88	135
				④	-108[-102](-141)	-109	-92	127[136](98)
				すき間				

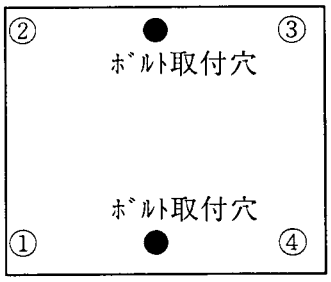
［　］：平均値　　（　）：ＳＣＥ



すき間腐食試験片



溶接部すき間腐食試験片



母材試験片

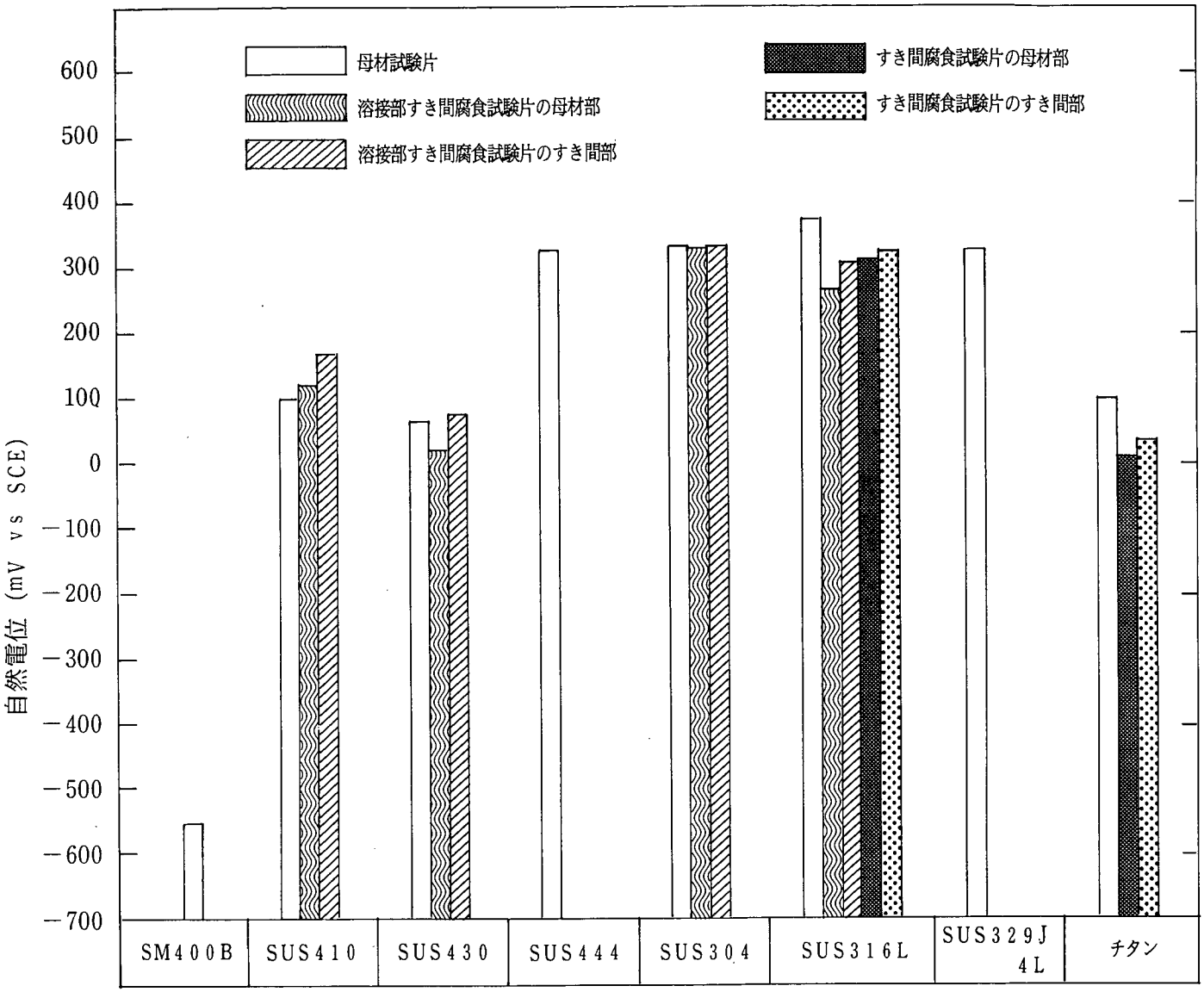


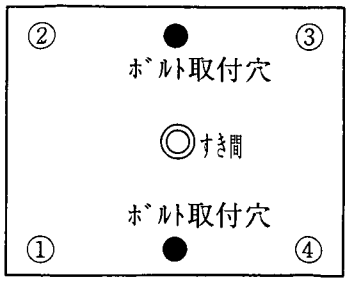
図2.5.1　七ヶ宿ダム湖暴露試験1年経過後の自然電位測定結果
［付着物除去前（そのまま）］

表2.5.7　七ヶ宿ダム湖暴露試験３年経過後の電位測定（その２）
［Ｈ５年１１月２日～Ｈ８年１１月７日］

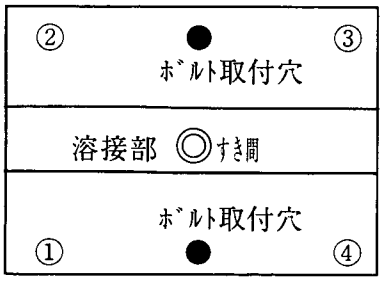
（単位：mV　vsSCE）

No.	記　号	鋼　種	形　状	番号	そのまま（付着物除去前）	水洗い後（付着物除去直後）
1	７Ａ－３	ＳＵＳ３１６Ｌ	すき間腐食	①	335	204
				②	335	203
				③	325	198
				④	327　[331]	199　[201]
				すき間	333	198
2	７Ｂ－３	ﾁﾀﾝ(Ti)	すき間腐食	①	163.3	50.7
				②	158.6	48.6
				③	148.7	52.0
				④	139.1[152.4]	53.6[51.2]
				すき間	140.0	52.8
3	８Ａ－３	ＳＵＳ３０４	溶接部すき間腐食	①	138.4	130.2
				②	139.3	133.2
				③	118.5	118.6
				④	132.7[132.2]	120.8[125.7]
				すき間	140.5	125.9
4	８Ｂ－３	ＳＵＳ４１０	溶接部すき間腐食	①	219	118.2
				②	220	121.3
				③	209	112.8
				④	207　[213.7]	106.4[114.7]
				すき間	211	111.3
5	８Ｃ－３	ＳＵＳ４３０	溶接部すき間腐食	①	376	336
				②	382	337
				③	375	329
				④	365　[375]	332　[334]
				すき間	376	330
6	８Ｄ－３	ＳＵＳ３１６Ｌ	溶接部すき間腐食	①	229	200
				②	237	211
				③	234	214
				④	241　[235]	215　[210]
				すき間	235	212
7	９Ａ－３	ＳＭ４００Ｂ	母材	①	-418	-431
				②	-406	-435
				③	-446	-465
				④	-461　[-433]	-498　[-457]
				中央	-455	-508

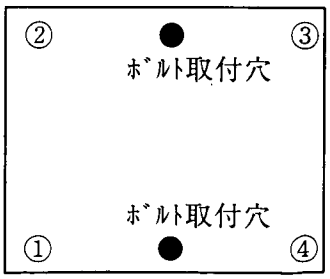
［　］：平均値



すき間腐食試験片



溶接部すき間腐食試験片



母材試験片

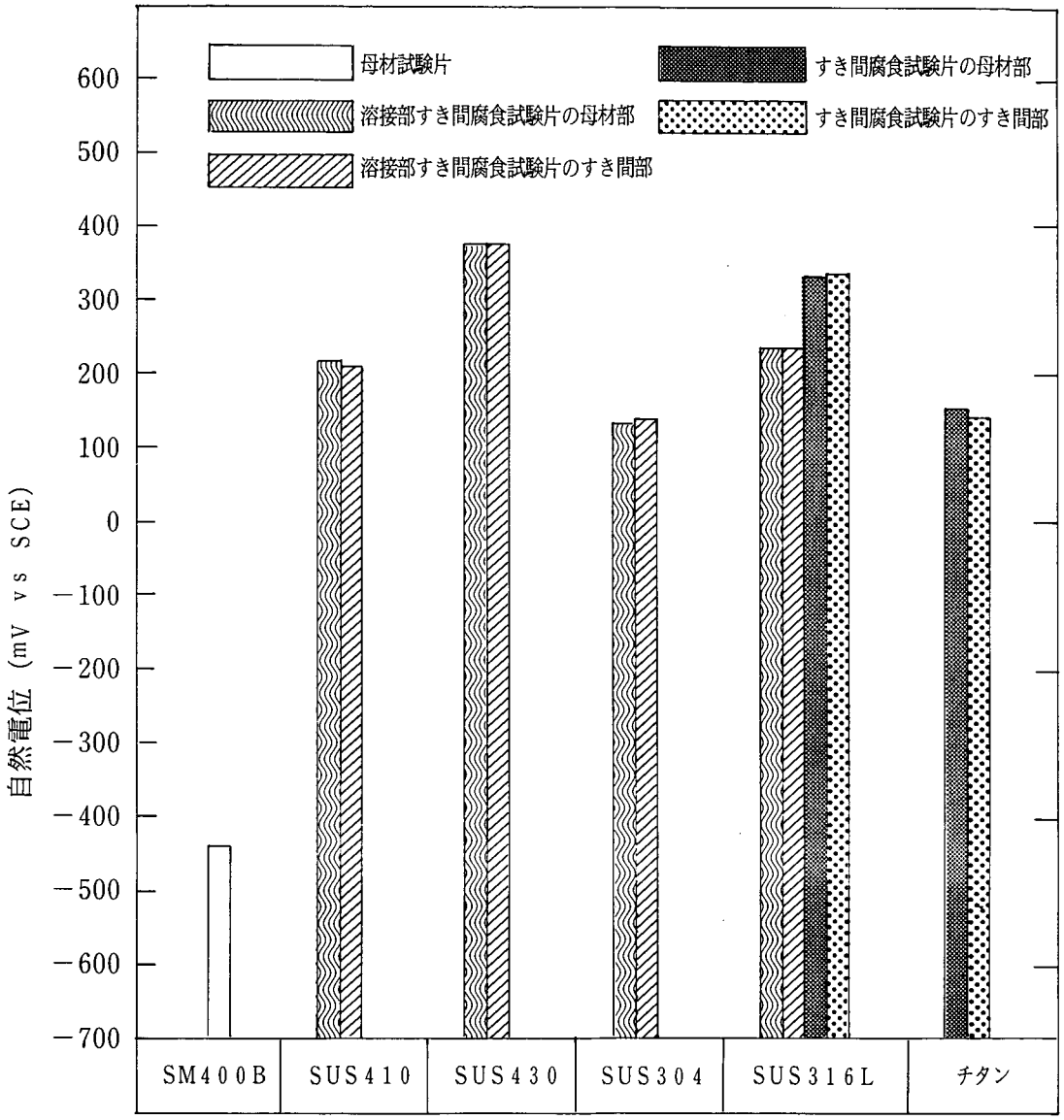


図2.5.2　七ヶ宿ダム湖暴露試験３年経過後の自然電位測定結果
［付着物除去前（そのまま）］

２．６腐食速度評価試験

２．６．１目的

その１の普通鋼単独試験片は、ステンレス鋼と異種金属接合した普通鋼がどの程度腐食するかを調べるための比較材として用いた。この試験では試験片の重量測定を行っていなかったので、腐食速度は板厚減少から求めた。

より正確な腐食量を求めることを目的として、'6×"100×'100試験片を製作して重量測定を行った。さらに、江戸川河口堰，大町ダム湖，奈良俣ダム湖にも試験片を暴露してその腐食環境を比較することを目的とする。

２．６．２試験条件

(1)供試材

供試材の化学成分を表2.6.1に、機械的性質を表2.6.2に示す。

表2.6.1　供試材の化学成分　　（ｗｔ％）

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	備　考
SM400B	0.084	0.19	0.88	0.017	0.0056	0.013	0.019	'6×"100×'700 試験片
SM400B	0.12	0.23	0.62	0.014	0.002	－	－	'6×"100×'100 試験片

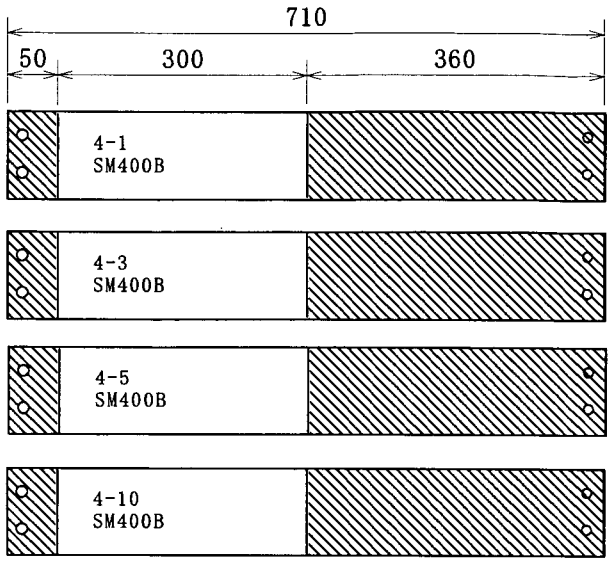
表2.6.2　供試材の機械的性質

	引　張　試　験			備　考
	降伏点 (kgf/mm^2)	引張強さ (kgf/mm^2)	伸び (%)	
SM400B	31.7	42.4	69.8	'6×"100×'700 試験片
SM400B	33.1	45.6	32.0	'6×"100×'100 試験片

(2) 試験片形状

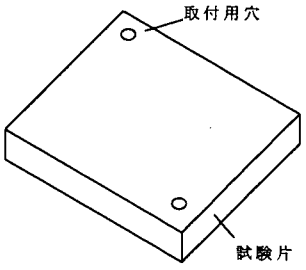
図2.6.1に試験片形状を示す。

図2.6.1(1)　試験片形状

試験片の種類	暴露期間(年)				試　験　片　寸　法
	1	2	5	10	
普通鋼単独試験片 (比較材)	●				
		●			
			●		
				○	

●：回収調査済み
○：暴露試験中

図2.6.1(2)　試験片形状

試験片の種類	暴露期間(年)				試　験　片　寸　法
	1	3	5	10	
普通鋼単独試験片					
					試　験　片
	●				9A-1　400B-1　　SM400B
		●			9A-3　400B-3
			○		9A-5　400B-5
				○	9A-10　400B-10

●：回収調査済み
○：暴露試験中

２．６．３調査項目

(1)腐食速度測定

暴露試験片（その１）では、試験片が大型であるため回収後切断し、超拡大視野観察用金属顕微鏡(NIKON PROFILE PROJECTOR V-12B)により板厚測定を行い、塗装部を元厚として腐食速度を評価した。暴露試験片（その２）では、回収後の重量測定値から腐食減量を求めて暴露期間で割って、平均腐食速度を求めた。

(2)自然電位測定

現地で試験片を回収する際、浅瀬において浸漬状態で自然電位を測定した。

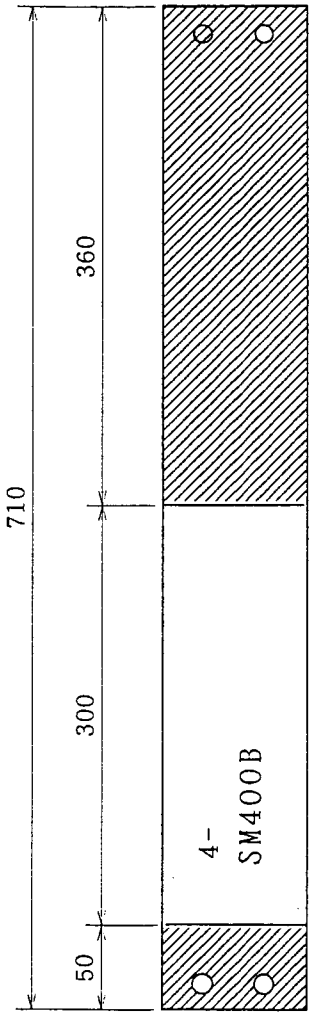
２．６．４調査結果

(1)腐食速度測定

表2.3.7に暴露試験片（その１）の板厚測定結果を示す。また、表2.6.3と図2.6.2に暴露試験片（その２）から得られた板厚測定結果を示す。１，２および５年後のデータの平均板厚を図2.6.3に示す。初期腐食速度（１年後）は約0.2mm/年程度であったが、５年後の腐食速度は約0.1mm/年となっている。この腐食傾向は直接的な腐食であることから、まだ防食皮膜が生成されていないものと考えられる。

その２のSM400Bの全面腐食性を表2.6.4および図2.6.4に示す。SM400B単独試験片（その１）では１年間で0.18mm、２年間で0.27mmであった。SM400B単独試験片（その２）では１年間で 0.18mm、３年間で0.33mmであった。この腐食速度は$y=0.20T^{1/2}$であり、ほぼ同じであった。

一方、SM400B/SUS304（ボルト）との異種金属接触腐食試験では、SM400Bの腐食速度は１年間で0.35mm，２年間で0.50mmであり、腐食性は約1.8倍になった。また、SM400Bボルト近傍部円周方向を１２等分割にして測定した平均腐食速度は１年間で0.18mm、２年間で0.39mm、であった。この腐食性の増加はSM400Bとボルト(SUS304)はＦＲＰで絶縁しているが、ダム湖に暴露していると藻が付着することで導電することがわかった。よって、SM400B/SUS304との異種金属接触腐食になったために腐食が増大したものと考えられる。



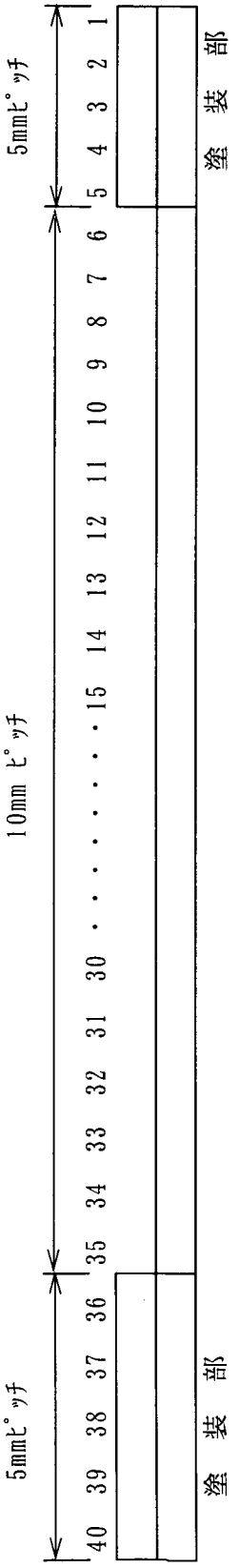


表2.6.3　板厚測定結果（その２）

Point No.	１年後 (mm) 試験片4-1	２年後 (mm) 試験片4-3	５年後 (mm) 試験片4-5
1	5.730	5.660	
2	5.720	5.655	
3	5.725	5.520	5.665
4	5.760	5.535	5.733
5	5.710	5.435	5.487
6	5.550	5.216	5.227
7	5.595	5.398	5.516
8	5.555	5.461	5.346
9	5.535	5.357	5.279
10	5.420	5.405	5.338
11	5.445	5.472	5.419
12	5.345	5.337	5.239
13	5.555	5.544	5.130
14	5.500	5.527	5.225
15	5.480	5.406	5.359
16	5.555	5.381	4.856
17	5.550	5.467	4.957
18	5.600	4.983	5.024
19	5.465	5.584	5.060
20	5.575	5.225	5.083
21	5.435	5.567	4.389
22	5.445	5.397	5.015
23	5.660	5.490	4.903
24	5.455	5.435	5.275
25	5.505	5.352	5.188
26	5.470	5.343	4.935
27	5.720	5.355	4.780
28	5.505	5.455	5.370
29	5.725	5.515	5.287
30	5.500	5.467	5.037
31	5.395	5.335	5.103
32	5.540	5.437	5.378
33	5.630	5.393	5.455
34	5.525	5.269	5.297
35	5.435	5.338	5.522
36	5.745	5.704	5.570
37	5.705	5.711	5.773
38	5.660	5.696	5.773
39	5.690	5.663	
40	5.640	5.650	
塗装部平均厚	5.708	5.671	5.736
腐食部平均厚	5.522	5.397	5.165
腐食板厚	0.186	0.274	0.571

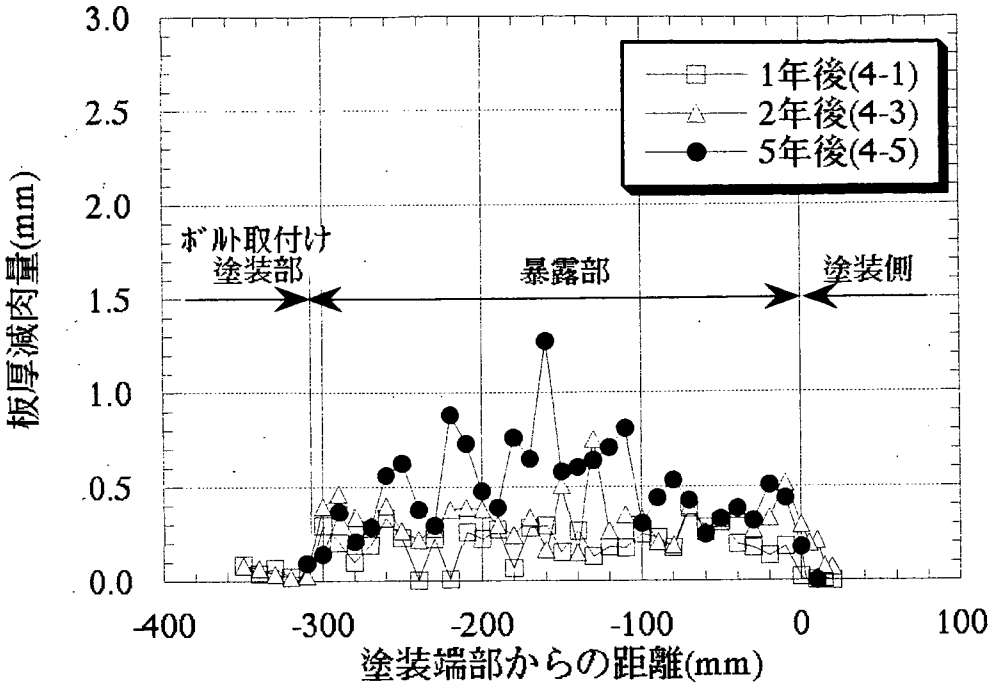


図2.6.2　SM400Bの板厚状況

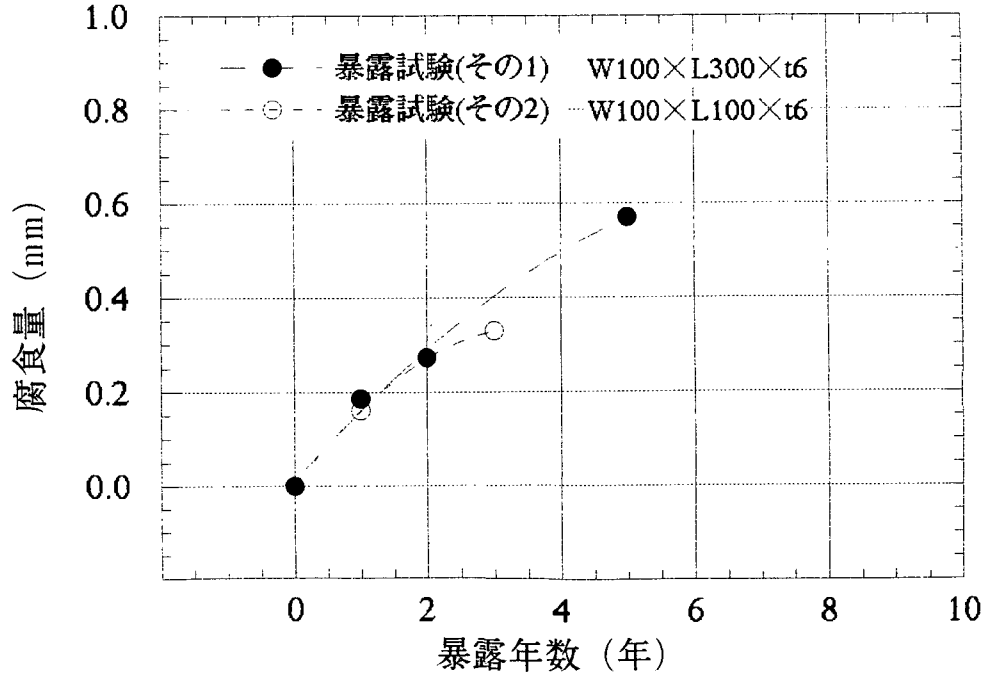


図2.6.3　SM400B鋼の腐食速度

表2.6.4　ＳＭ４００Ｂの全面腐食試験結果（その２）

	マーク	溶接有無	腐食減量 (mg)	腐食速度 (g/m² h)	最大侵食深さ
※1) １年間	9A-1	なし	31,176	0.162 (0.18mm/1年間)	0.51mm
※2) ３年間	9A-3	なし	59,720	0.103 (0.33mm/3年間)	0.35mm

※1）Ｈ５年１１月２日～Ｈ６年１０月２８日
※2）Ｈ５年１１月２日～Ｈ９年１１月　７日

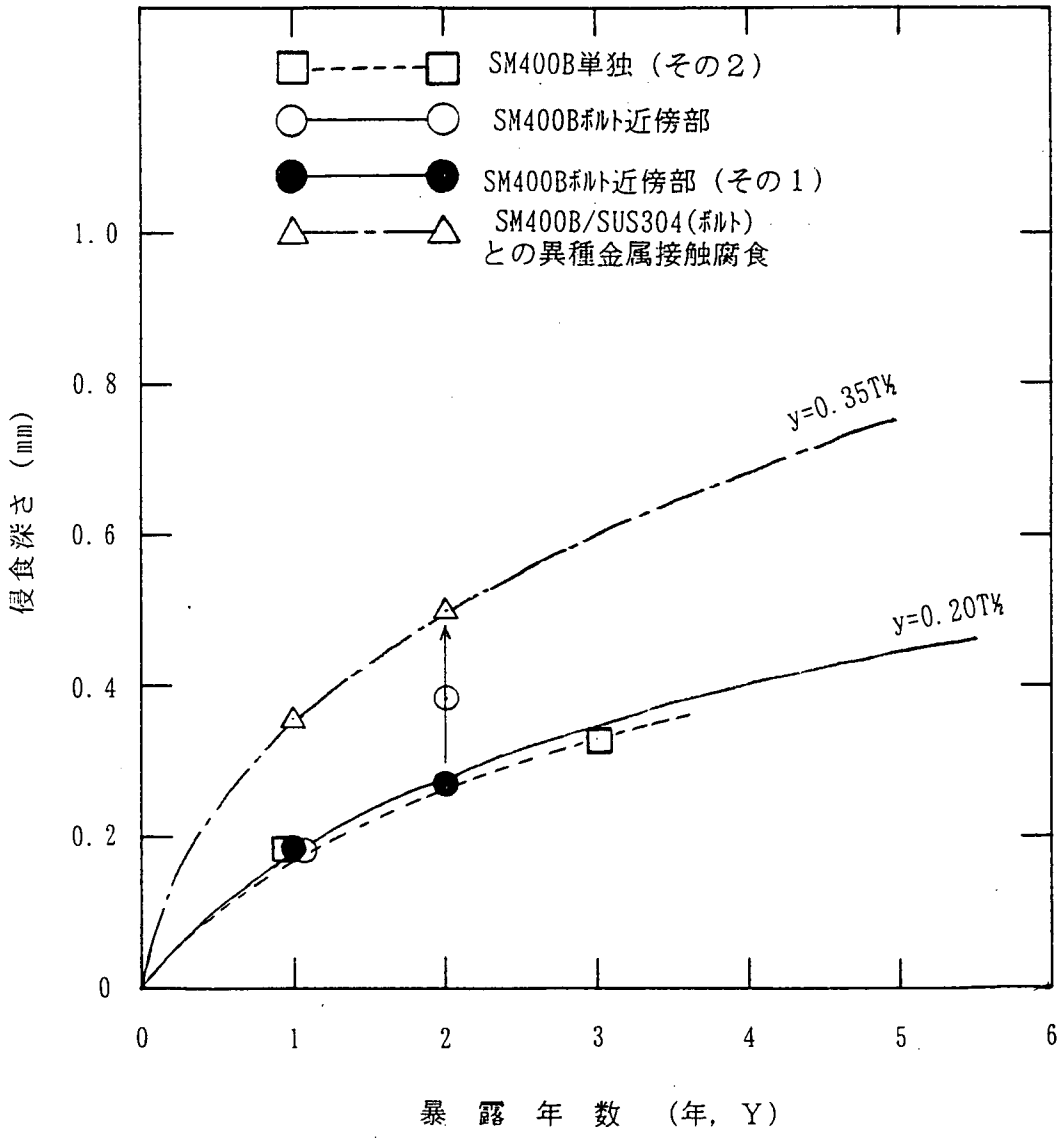


図2.6.4　ＳＭ４００Ｂの侵食深さ測定結果

２．７ワイヤロープ用防錆グリース試験

２．７．１目的

ダム，堰などの水門設備では、水門を開閉するためにワイヤロープが使用されておりワイヤロープ表面には、防錆および潤滑を目的としたグリース状の防錆油（防錆グリース）が塗布されている。従来のグリースは劣化にともない硬化して除去しにくく、垂れ汚れが水門設備や周辺の景観の妨げとなっている。

本試験は、亜鉛めっき製ワイヤロープおよびステンレス製ワイヤロープに使用されている従来型の防錆グリースと新たに開発された防錆グリースについて付着性および防錆性を評価することを目的として七ヶ宿ダム湖において暴露試験を開始した。

亜鉛めっき製ワイヤロープの試験体は平成５年１１月に開始したが、平成７年２月の暴風によって試験体が流出してしまったため、平成７年７月再試験を開始した。ステンレス製ワイヤロープの試験体は平成８年４月から開始した。

２．７．２試験体

（１）グリース

試験に供したグリースは、実績のあるＡ，Ｂ，Ｃ（増ちょう剤：複合アルミおよび金属微粒子）３種類とＤ（増ちょう剤：シリカ系）の４種類である。試験項目・試験方法を表2.7.1 に、供試グリースの性状を表2.7.2 に示す。

表2.7.1 防錆グリースの試験項目・試験方法

試験項目	規　格	試験方法・評価
ちょう度	JIS K 2220	針入度計を用いて規定の25℃で円錐状の針を試料中に貫入し、その深さよりグリースの軟らかさを評価する。グリースの交換作業の容易性，変質による増ちょう剤の構造変化や離油の指標とする
ASTM色	ASTM D1500	ASTM標準色と比較してグリースの色を表す
滴点	JIS K 2220	規定のカップに試料を塗布し、熱で半固体状から液体状に変化してカップから流れ落ちる温度で滴点を評価する
塩水噴霧試験	JIS Z 2371	グリースを塗布したSS410 試験片を、温度32±2 ℃，圧力80～100kPa，5%塩水で、錆の発生する時間で評価する
潤滑性	ASTM D2625	荷重2,000Nで 5分間ならし運転後、自動負荷気候で荷重を連続増加させ、トルクが急上昇した荷重を焼付け荷重とし、潤滑性を評価する

表2.7.2 供試グリースの性状

評価項目　　試　料	A	B	C	D
ちょう度（不混和）　２５℃	440	280	320	283
ＡＳＴＭ色	D 8.0	D 8.0	D 8.0	L 6.0
滴　　点　　℃	82	287	246	102
塩水噴霧試験（錆発生時間，時間）	＜ 135	＜70	＜ 640	＞2000
潤滑性（焼付き荷重，N）	2000	2000	3780	3450

（２）供試ワイヤーロープ

供試ワイヤーロープは、φ１２ｍｍで、前処理としてアムスラー試験機で１ｔで１分間引張った後、各グリースを３本づつ塗布し図2.7.1 のように設置して暴露した。

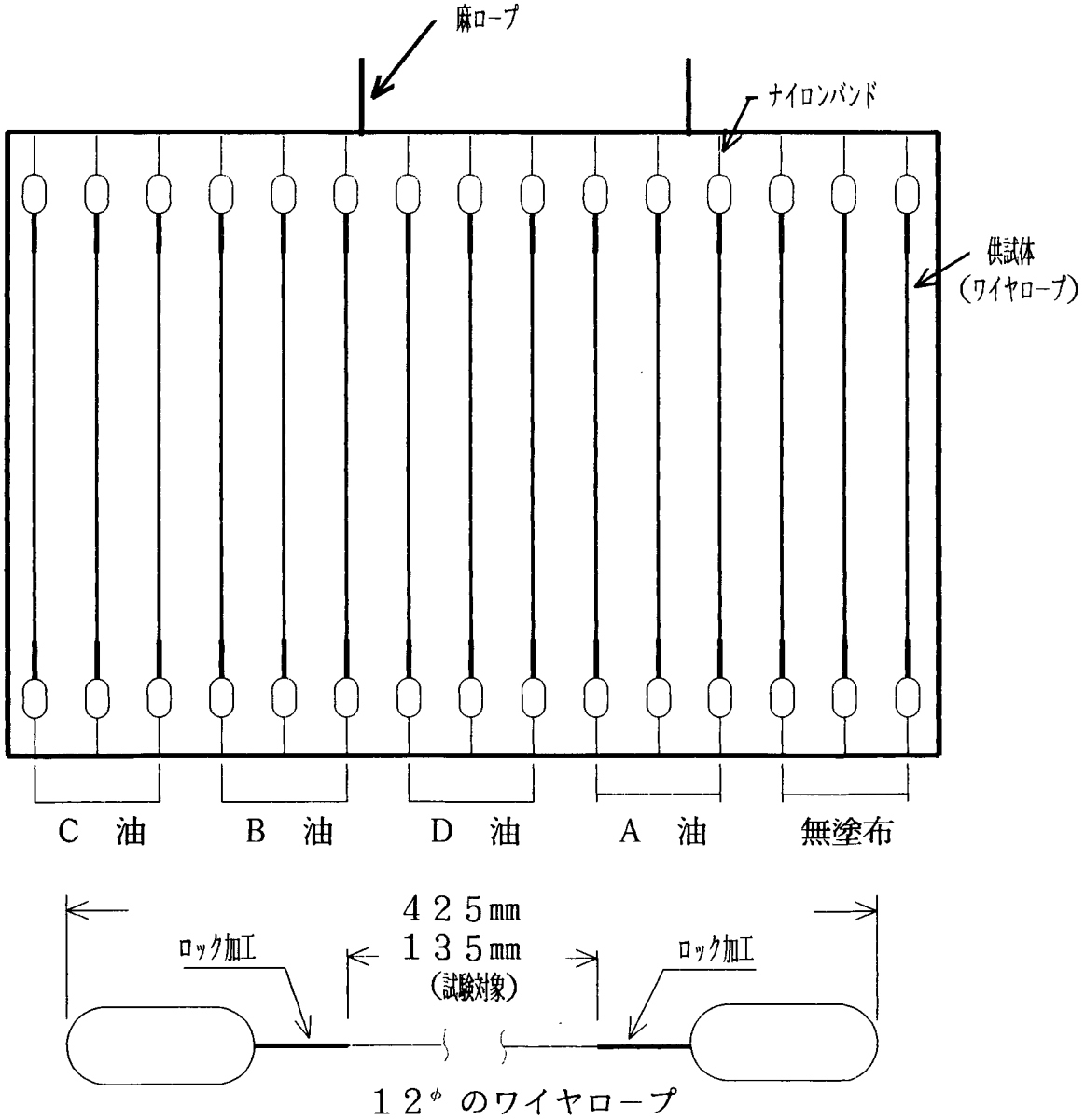
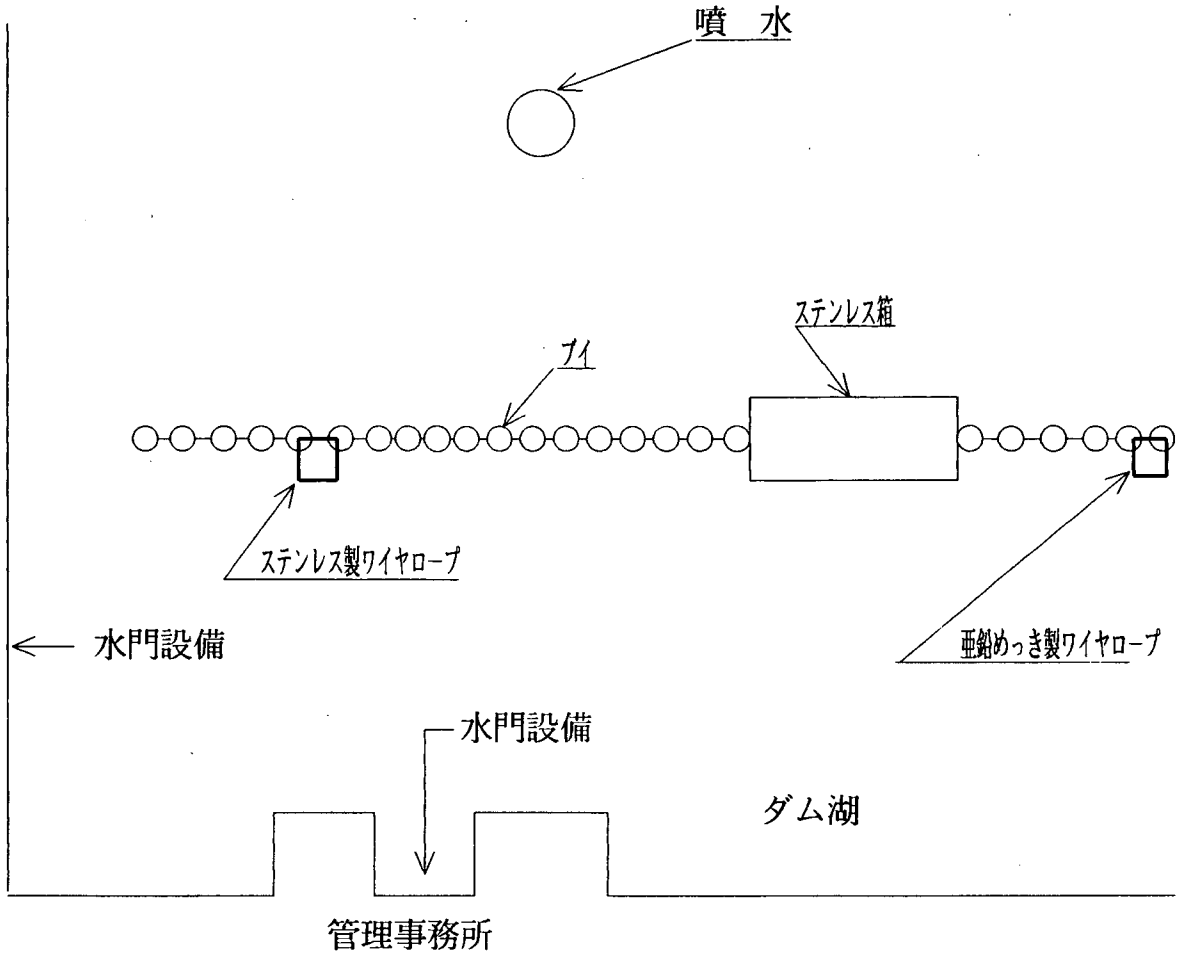


図２．７．１　供試体の概要

（3）配置図

供試ワイヤロープは、図2.7.2 に示す七ヶ宿ダム湖の流木防止ネットに、水面下 1～1.5mの位置に設置した。



２．７．３調査項目

（１）外観観察

ワイヤロープの表面状態とグリースの付着状態および色相を調査する。

（２）劣化特性

暴露１年後のグリースを採取し、ヘキサンに溶解して遠心分離した油分を赤外分光分析して1700cm^{-1}付近のカルボニル基のピークが検出されることでグリースの劣化状態を評価する。

２．７．４調査結果

各供試ワイヤロープの目視観察結果を表2.7.3 ～4 に、グリースの付着状態を写真2.7.1 ～4 に、赤外分光分析したスペクトルチャートを図2.7.3 ～4 に示す。

（１）亜鉛めっき製ワイヤロープ

１）グリースを塗布していない無塗布ワイヤロープは、６ヶ月後亜鉛めっきが部分的に溶出し、１年後にはほぼ全面溶出し、１６ヶ月後はさらに溶出が進んでいる。

２）暴露前と暴露１年経過後のグリースの赤外分光分析結果を比較すると、Ｃに劣化による1700cm^{-1}付近のカルボニル付近の吸収スペクトルが検出された。

３）グリースを塗布したワイヤロープは、１３ヶ月後グリース付着量は減少し、１６ヶ月で亜鉛めっきの溶出が部分的に認められた。スライムの下のグリースはＤ以外ではＡが褐色に、ＢおよびＣが乳白色に変色していた。

（２）ステンレス製ワイヤロープ

１）グリースを塗布していない無塗布ワイヤロープは、６ヶ月後も腐食は認められない。

２）グリースを塗布したワイヤロープは、スライムの付着あ多くなっているが、各グリースとも付着量の減少は認められない。

３）スライムの下のグリースは、Ｃ，Ｄのグリースは変化なく、Ａが褐色に、Ｂは乳白色に変色していた。

表2.7.3 目視観察結果（亜鉛めっきワイヤロープ）

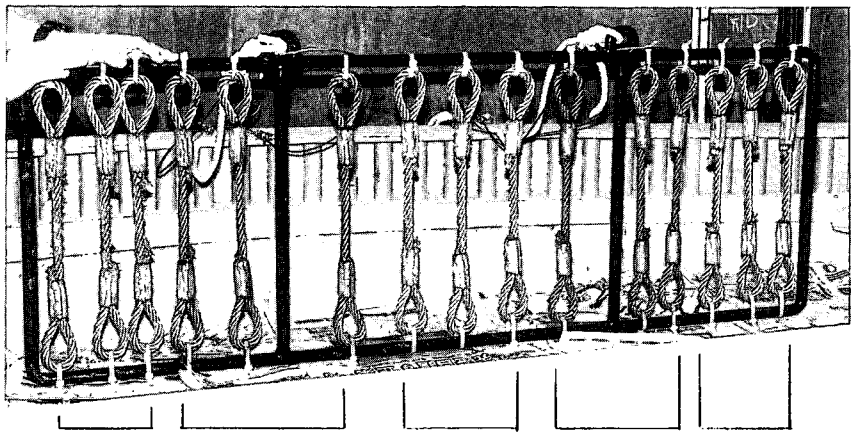
	塗　布　時	6ヶ月[1)]	13ヶ月[2)]	16ヶ月[2)]
無塗布	――――	部分的に亜鉛めっきが溶出，スライム（藻等）付着多	全面に亜鉛めっきが溶出	全面に亜鉛めっきが溶出
A	茶褐色，グリースが垂れて塗りにくい	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし 褐色に変色，スライム（藻等）付着多	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし，グリース付着減少	部分的に亜鉛めっきの溶出，錆なし グリース付着減少 スライム（藻等）付着多
B	空色，作業性優れている	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし 乳白色に変色，スライム（藻等）付着多	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし，グリース付着減少	部分的に亜鉛めっきの溶出，錆なし グリース付着減少 スライム（藻等）付着多
C	黄金色，グリースは糸を引き付着しにくい	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし 乳白色に変色，スライム（藻等）付着多	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし，グリース付着減少	一部亜鉛めっきの溶出，錆なし
D	淡褐色，作業性に優れている	亜鉛めっきの溶出・錆発生なし 変色なし	変色なし，グリース付着減少	変色なし，グリース付着減少 スライム（藻等）付着多

1)平成5年11月暴露開始，2）平成7年7月暴露開始

表2.7.4 目視観察結果（ステンレスワイヤロープ）

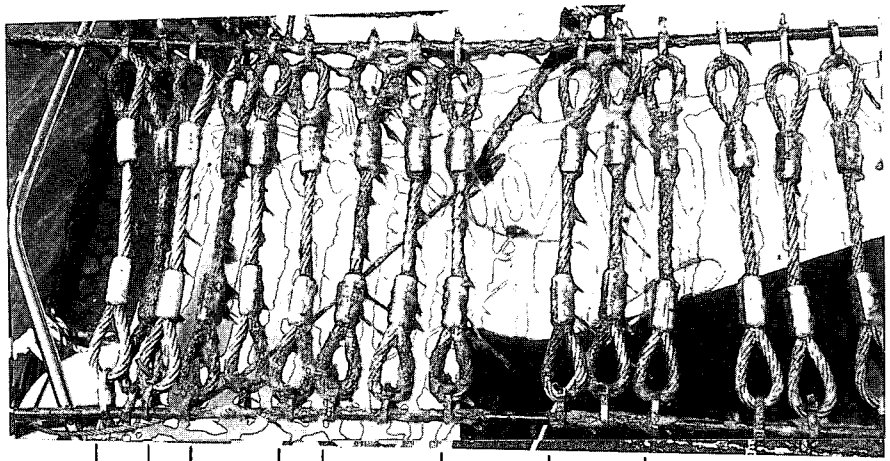
	塗　布　時	6ヶ月後
無塗布	――	錆なし，青いスライム（藻類）付着多
A	茶褐色，グリースが垂れて塗りにくい	錆なし，褐色に変色，青いスライム（藻類）付着多
B	空色，作業性優れている	錆なし，乳白色に変色，青いスライム（藻類）付着多
C	黄金色，グリースは糸を引き付着しにくい	錆なし，変色なし，青いスライム（藻類）付着多
D	淡褐色，作業性に優れている	錆なし，変色なし，青いスライム（藻類）付着多

全体図



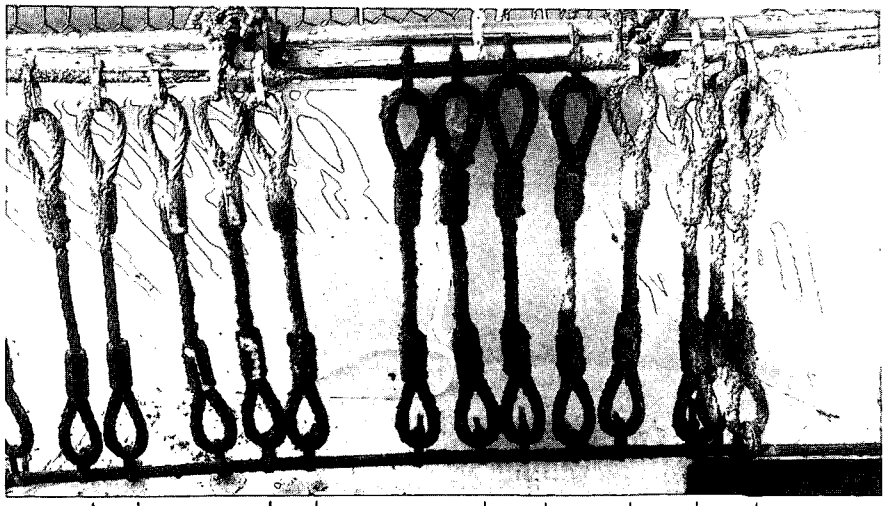
C油　B油　D油　A油　無塗布

亜鉛めっき製ワイヤロープ



C油　B油　D油　A油　無塗布

6カ月後

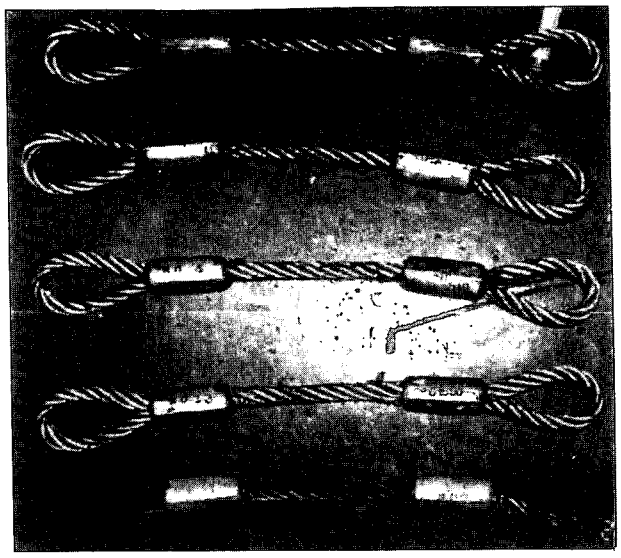


C油　B油　D油　A油　無塗布

12カ月後

写真2．7．1　暴露試験結果

全体図



A油

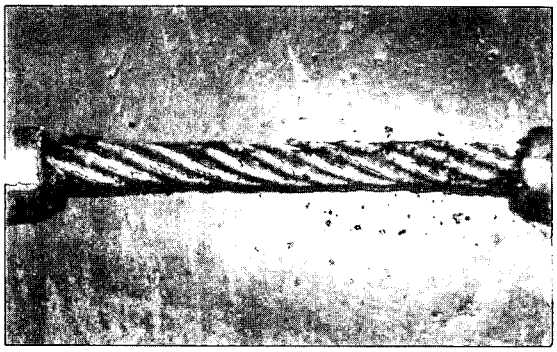
B油

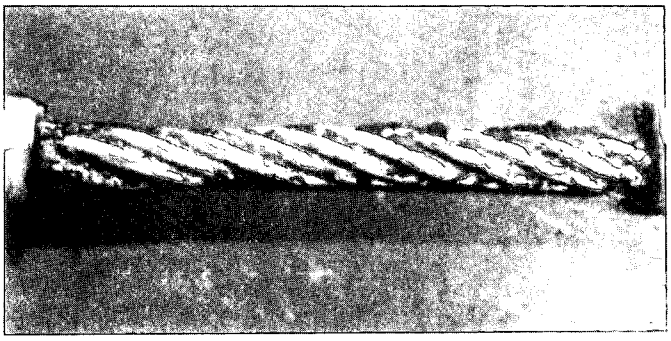
D油

C油

無塗布

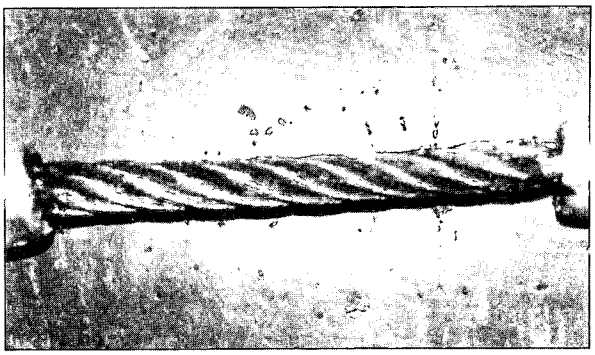
A油　　亜鉛めっき製ワイヤロープ　　B油

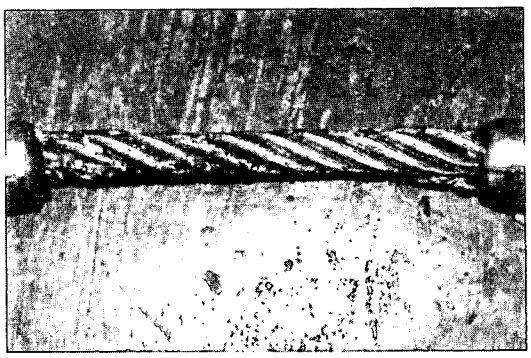




D油

C油





無塗布

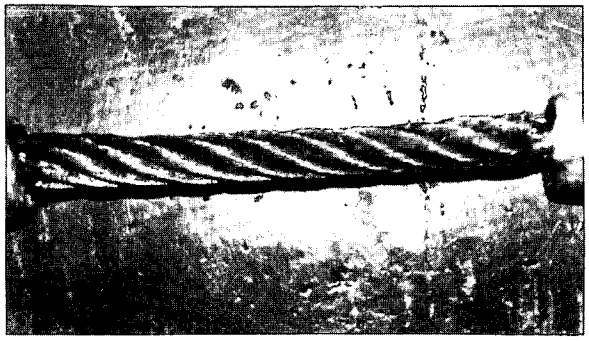
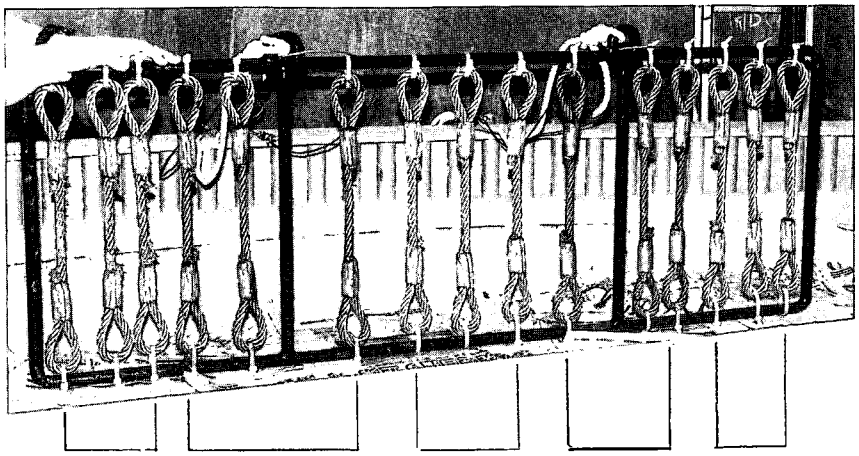


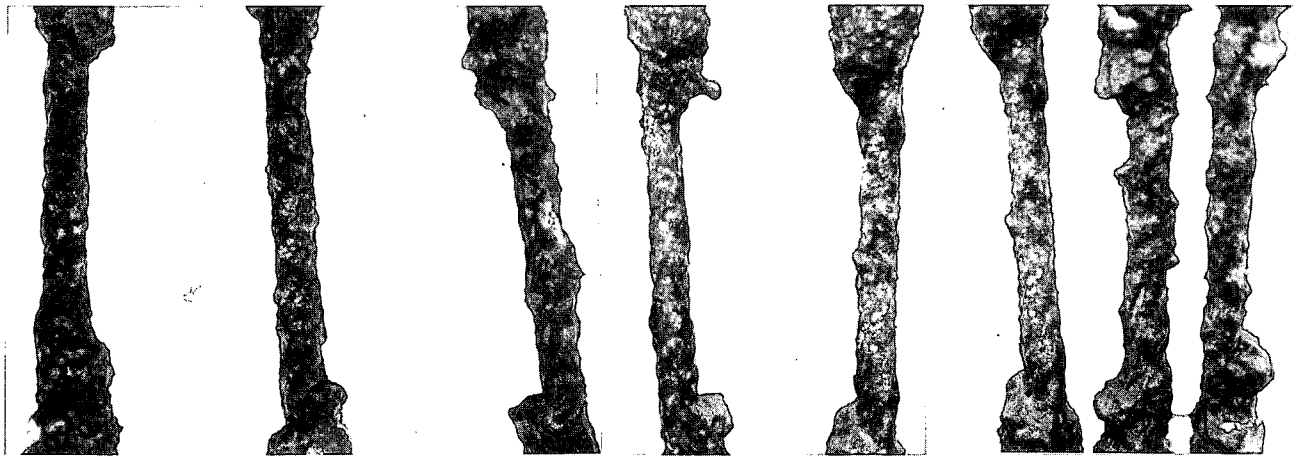
写真２．７．２　暴露試験結果（１２カ月後）

全体図

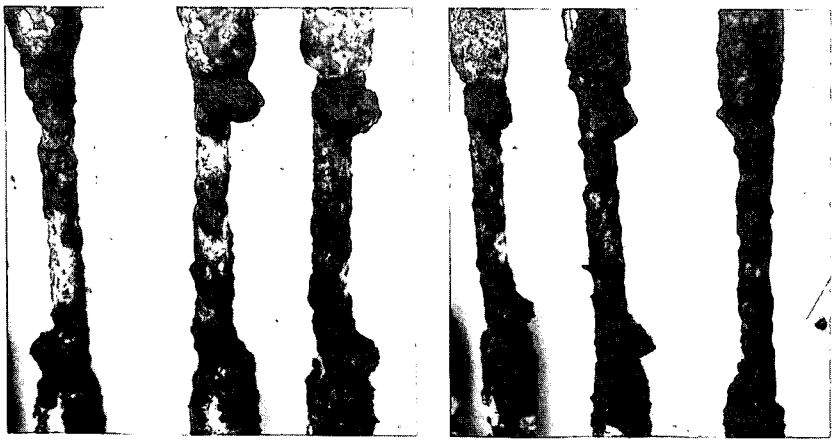


C油　B油　D油　A油　無塗布

亜鉛めっき製ワイヤロープ



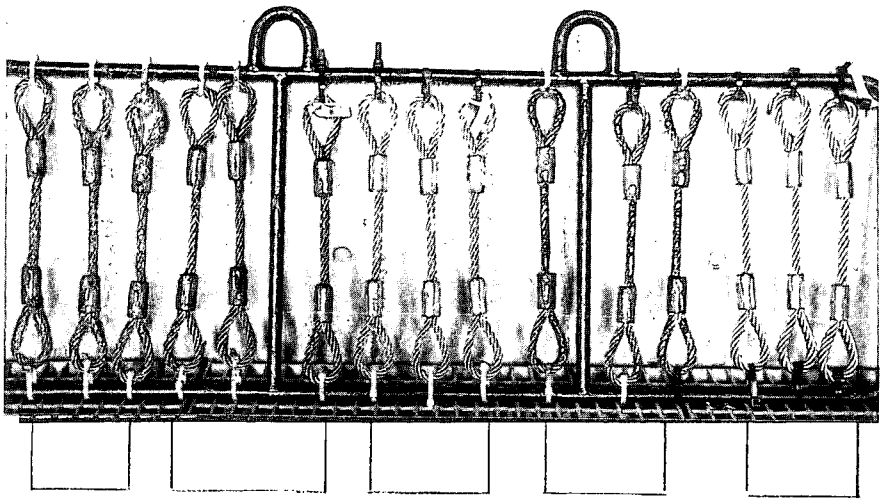
D油　A油　無塗布



C油　B油

写真２．７．３　暴露試験結果（１６カ月後）

全体図

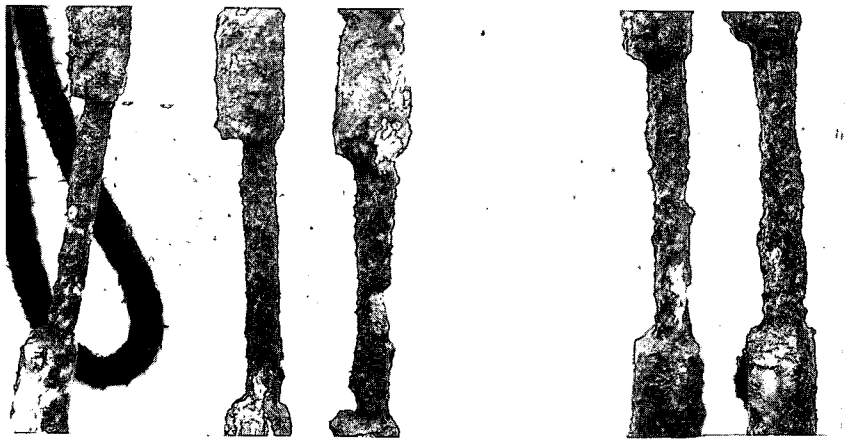


C油　B油　D油　A油　無塗布

ステンレス製ワイヤロープ



D油　A油　無塗布



C油　B油

写真２．７．４　暴露試験結果（６カ月後）

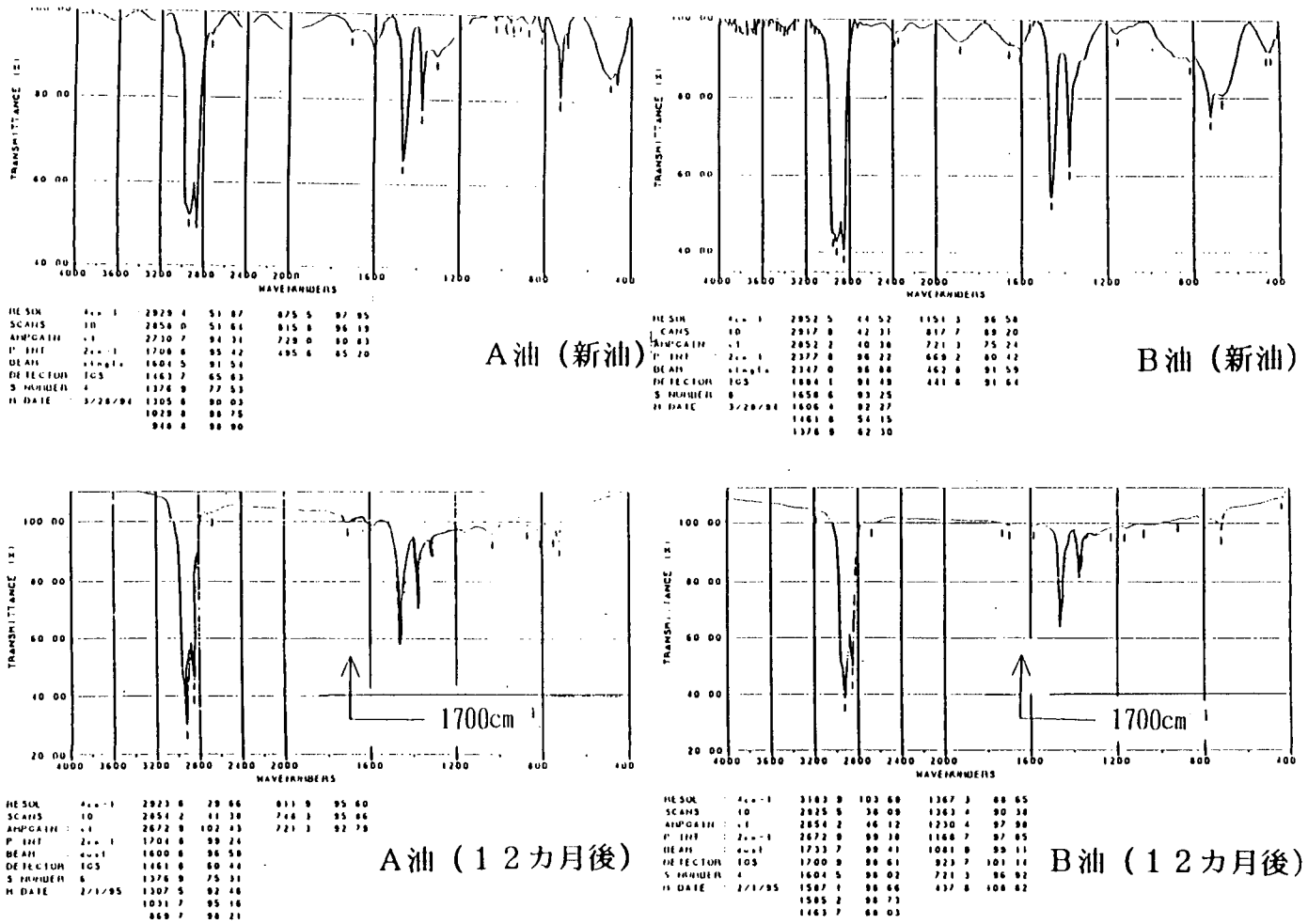


図2．7．3　ＩＲスペクトルチャート

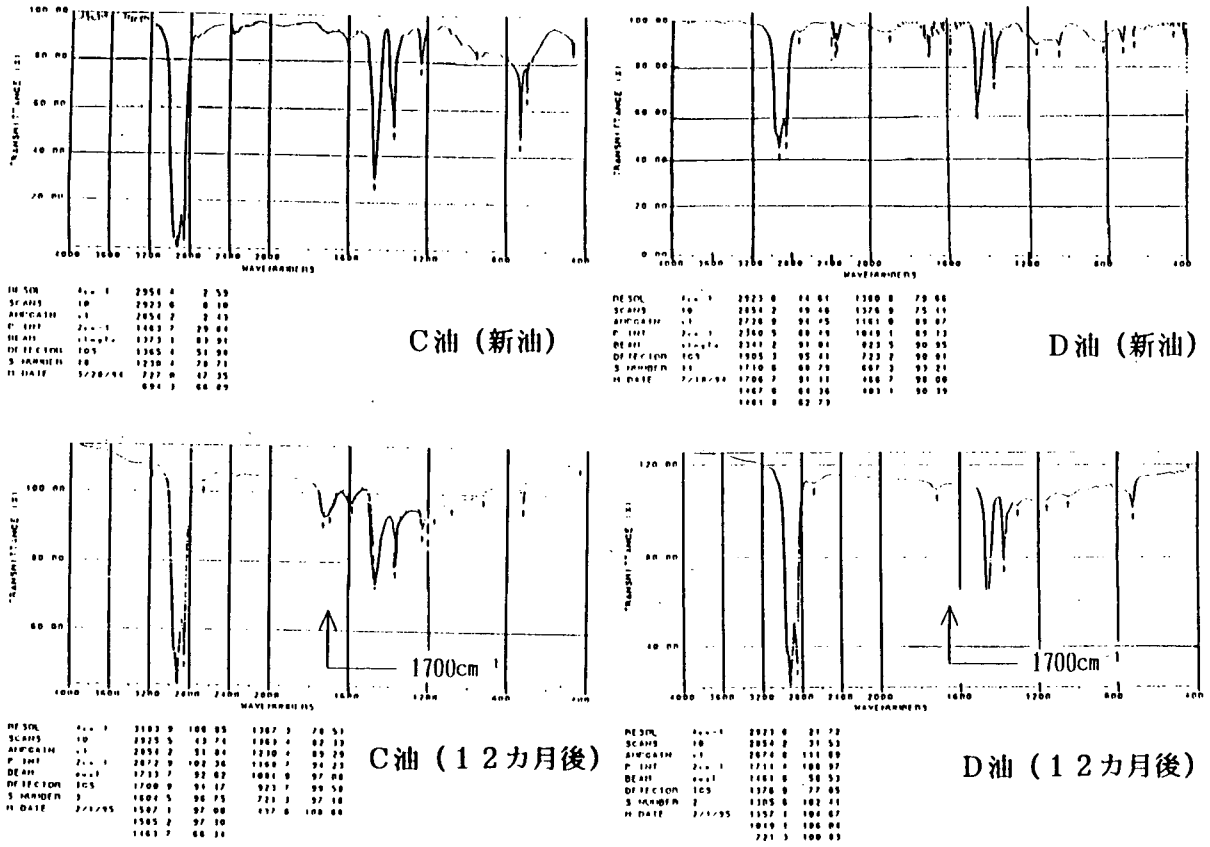


図2．7．4　ＩＲスペクトルチャート

２．８まとめ

２．８．１異種金属接触腐食試験

（１）外観観察

１年と５年目の調査時には、ステンレス鋼表面に緑の藻が生息していたが、２年目の調査時には黄土色の付着物が付いていた。塗装欠陥部（SM400B）には、一様に赤茶色の錆が欠陥部に詰まっていた。5 年間暴露試験片塗装部およびステンレス鋼部には多数の擦り傷があり、たとえば試験片 2E-5,3B-5ではエッジに錆が生じていた。

（２）腐食速度

１）SM400Bは、暴露２年で、塗装端部からの距離が離れるにしたがい腐食深さは小さくなった。暴露５年では、50mm近傍で腐食深さが極端に小さくなっている。これは断面観察の結果、欠陥部の塗膜が劣化し面積が大きくなったためであることが明らかとなった。

２）SM400Bの腐食速度評価試験片は、暴露５年の平均腐食量は 0.571mmであり、異種金属接触腐食試験片の塗装端部から 300mm離れた位置の腐食量は1.55mmであり、２倍以上腐食は加速されている。

（３）自然電位測定

付着物が付いたままのSUS304の電位は、 200mV～300mV 程度となっており、塗装欠陥部のSM400Bの電位は、単独試験片の電位-280mV～-560mVよりかなり貴側にシフトしている。これは、ステンレスの電位の影響を受けていると考えられる。しかしながら、SUS304の付着物を水洗した後の電位は、いずれの試験片でも一様に-200mV程度まで卑にシフトしているので、付着物がステンレスの電位上昇に大きく関与していると思われる。

２．８．２すき間腐食試験

（１）外観観察

暴露１年と５年後のステンレス試験片には、青緑色の藻が全面に付着していた。しかし暴露２年後には、藻は付着していなかった。これは、天候（水温など）の影響と思われる。SM400Bには藻は付着しておらず赤錆が発生していた。

（２）自然電位測定

１）すき間腐食試験片の電位計測は、すき間治具，穴，取付けボルトの３か所で行った。暴露１年後のすき間治具の電位はSUS410が36.6mV，SUS430が360mV,SUS304が340m

V であった。暴露２年，５年後の電位も暴露１年後とほとんど同じ挙動を示した。

２）SUS304およびSUS430の電位は約 400mVであった。この電位は海水中の腐食電位とほぼ同等であった。この電位の上昇は、藻やダム湖に生息している微生物の付着あるいは代謝活動によるものと考えられる。

（３）孔食・すき間腐食発生状況および侵食深さ

１）暴露１年後、いずれの鋼種にもすき間腐食治具下にすき間腐食は発生していないが、取付けボルト近傍に多数の微小な孔食およびすき間腐食が発生していた。この孔食深さはSUS410で最大0.08mm，SUS430およびSUS304は0.01mmであった。

２）暴露２年後は、１年とほぼ同じであったが、すべての鋼種の孔食深さは差異だ0.02mmであった。

３）暴露５年後、いずれの鋼種にもすき間腐食治具下にすき間腐食は発生していないが、取付けボルト近傍に多数の微小な孔食およびすき間腐食が発生していた。この最大孔食深さはSUS410で0.02mm，SUS430で0.02mm，SUS304は0.01mmであった。

２．８．３異種金属ボルトによるすき間腐食試験

（１）外観観察

暴露１年後のステンレス鋼には藻が試験片全面に付着していたが、暴露２年後には藻は付着していなかった。SM400Bには藻は付着しておらず赤錆が発生していた。

（２）自然電位測定

１）暴露１年後の自然電位は、SM400Bが-580mV，SUS410が183mV,SUS430が340mV,SUS304が 405mVであった。

２）暴露２年後の自然電位は、暴露１年後とほぼ同様な電位挙動を示した。

３）暴露５年後の自然電位は、試験片が暴風のため流出し測定できなかった。

（３）孔食・すき間腐食発生状況

１）暴露１年後、SUS304/SUS410(ボルト・ナット）は、著しい腐食が生じた。SUS304の試験片とワッシャ（SUS304製）にはすき間腐食は認められなかった。しかし、試験片（SUS304）のボルト締付け時の傷部に微小なすき間腐食が発生していた。

SUS304/SUS430(ボルト・ナット）に軽微なすき間腐食が発生した。

SUS304/SUS304(ボルト・ナット）およびSM400B/SUS304(ボルト・ナット）は、ボルト，ナット，ワッシャおよび試験片に、しずれも孔食・すき間腐食が発生していなかった。

2）暴露２年後は、暴露１年後とまったく同じ腐食状況であった。

3）暴露５年後の試験片は、暴風のため流出し調査できなかった。

以上のことから、七ヶ宿ダム湖水ではSUS410は使用に耐えないと判断される。SUS430は若干の腐食が生じているため、さらに暴露試験を継続して長期間のデータで適用性を判断することが必要である。SUS304は0.02mm以下の微小な腐食が生じているが５年間で進展していないため、長期間の暴露試験データで適用性を判断することが必要である。

２．８．４腐食速度評価試験

1）SM400B単独試験片の腐食速度は、１年間で 0.18mm/年，３年間で 0.33mm/年であった。平均腐食速度Ｙは、$Y = 0.2T^{1/2}$ となる。

2）SM400B/SUS304 の異種金属接触腐食試験の結果、SM400Bの腐食速度は約1.8 倍加速され２年間で0.50mmであった。

3）SM400Bを固定しているボルト近傍の腐食速度は１年間で0.18mm，２年間で0.39mmであった。SM400Bとボルト（SUS304製）はFRP で絶縁していても、藻が付着することによって導電して、異種金属接触腐食状態となり、腐食が加速されたと考えられる。

4）鉄鋼便覧では、普通鋼の淡水中における腐食速度は0.005mm/年，海水中における腐食速度は約0.1mm/年と記載されているが、七ヶ宿ダム湖のSM400Bの腐食速度は海水に近い値を示している。これは、藻等の付着生物及び微生物の影響と考えられる。

２．８．５ワイヤロープ用防錆グリース試験

（1）亜鉛めっき製ワイヤロープは、無塗布では暴露１年ではぼ全面で亜鉛が溶出していた。一方、防錆グリースを塗布したものは、暴露１年では亜鉛の溶出はなく１６ヶ月後にグリースによっては亜鉛が部分的に溶出しているものがあった。

（2）ステンレス製ワイヤロープは、暴露６ヶ月では無塗布でも腐食は発生しておらずグリースを塗布したものも変色したものがあるが腐食等は生じていない。

（3）グリースＤ（シリカ系）は、他のグリースに比べて付着性，防錆性に優れていることが確認された。

3．江戸川水門における暴露試験

3．1試験概要

河口堰等の鋼構造物を対象とした防食設計指針の確立にむけて基礎的なデータを得ることを目的として、ステンレス材料を中心とした耐食材料の暴露試験を江戸川河口堰下流（汽水域）および上流（淡水域）において全面腐食性，すき間腐食性および異種金属接触腐食性の挙動を把握するために暴露試験を開始した。

3．2暴露試験環境

3．2．1暴露場所

図3.2.1に江戸川河口堰付近の暴露場所の位置を、図3.2.2に暴露架台の断面図を示す。

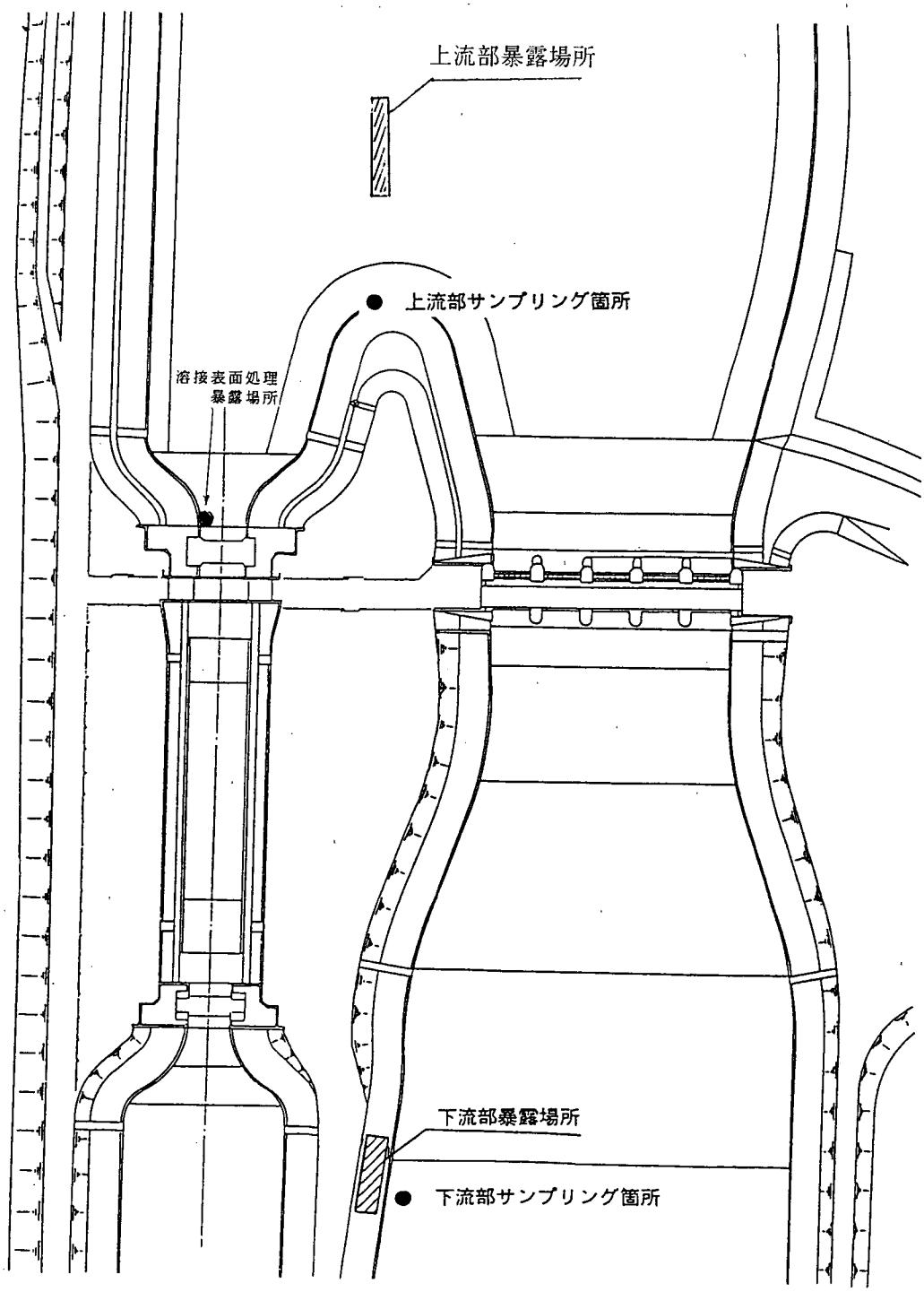


図 3.2.1　　江戸川河口堰・水質調査場所

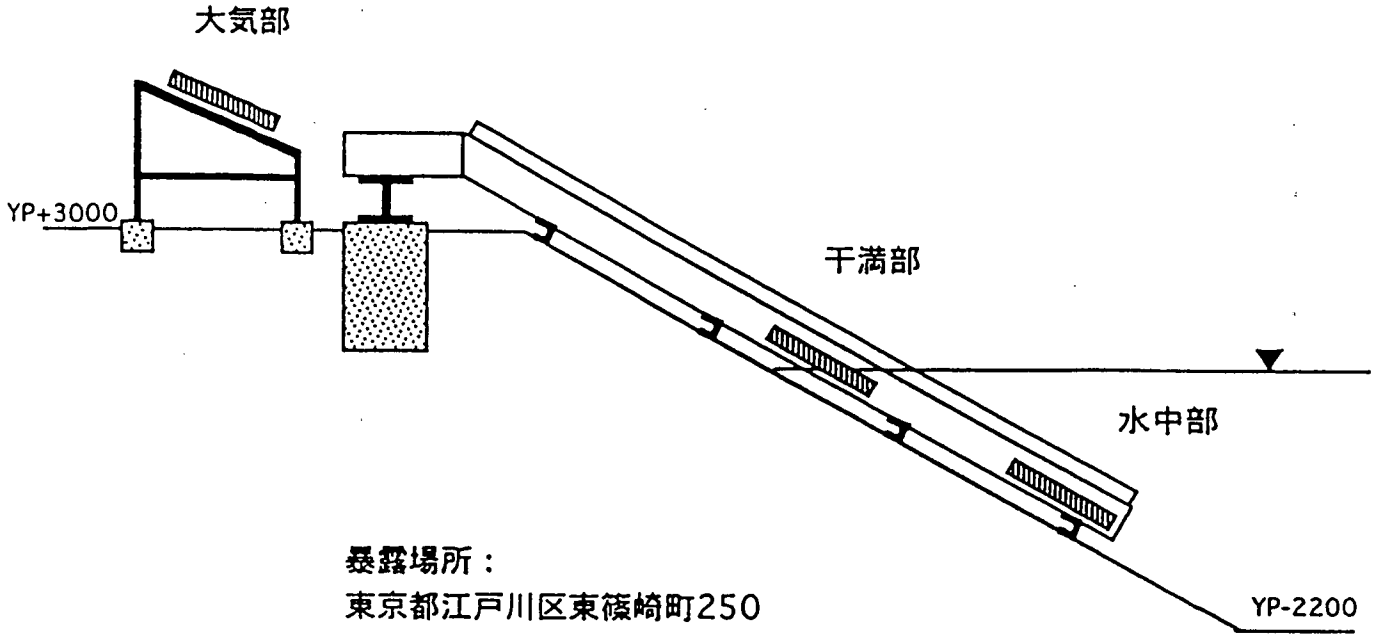


図 3.2.2 暴露架台断面図

3．2．2耐食材料暴露試験調査計画

表3.2.1に耐食材料の暴露試験調査計画を示す。

表3.2.1　耐食材料暴露試験調査計画

暴露場所 ＼ 暴露年		江戸川			溶接表面処理
		下流その1	下流その2	上流	七ヶ宿／江戸川／奈良俣／大町
H6年	1994	暴露開始 H6.9.08			
H7年	1995	1年目調査 H7.7.08完			暴露開始 7.12/7.20/7.21/7.24
H8年	1996		暴露開始 10.3-4	暴露開始 10.3-4	1年目調査 七ヶ宿，奈良俣，7.11,12 江戸川，大町7.18,19
H9年	1997	3年目調査 9.11	1年目調査 9.11	1年目調査 9.11	2年目調査 七ヶ宿，奈良俣，7.11,12 江戸川 7.18　大町 9.12
H10年	1998				3年目回収 7.20頃予定
H11年	1999	5年目回収 9.10頃予定	3年目回収 9.10頃予定	3年目回収 9.10頃予定	
H12年	2000				
H13年	2001		5年目回収 9.10頃予定	5年目回収 9.10頃予定	
H14年	2002				
H15年	2003				
H16年	2004	10年目回収 9.10頃予定			
H17年	2005				
H18年	2006		10年目回収 9.10頃予定	10年目回収 9.10頃予定	

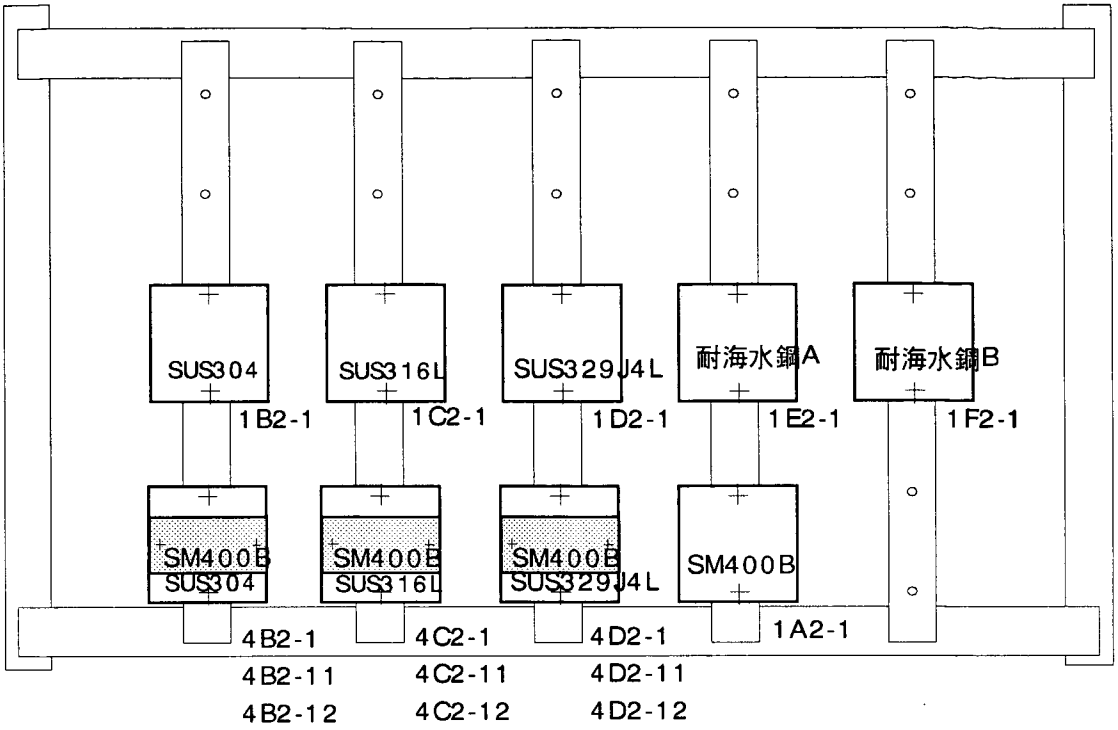
3．2．3供試片配置

下流(汽水域)での水中部，干満部，大気部に設置した暴露供試片の配置を図3.2.3～3.2.5に示す。

その1の暴露供試体配置を図3.2.3に，その2の暴露供試体配置を図3.2.4に示す。

上流(淡水域)での水中部および干満部に設置した暴露供試片の配置を図3.2.5に示す。

干満部



水中部

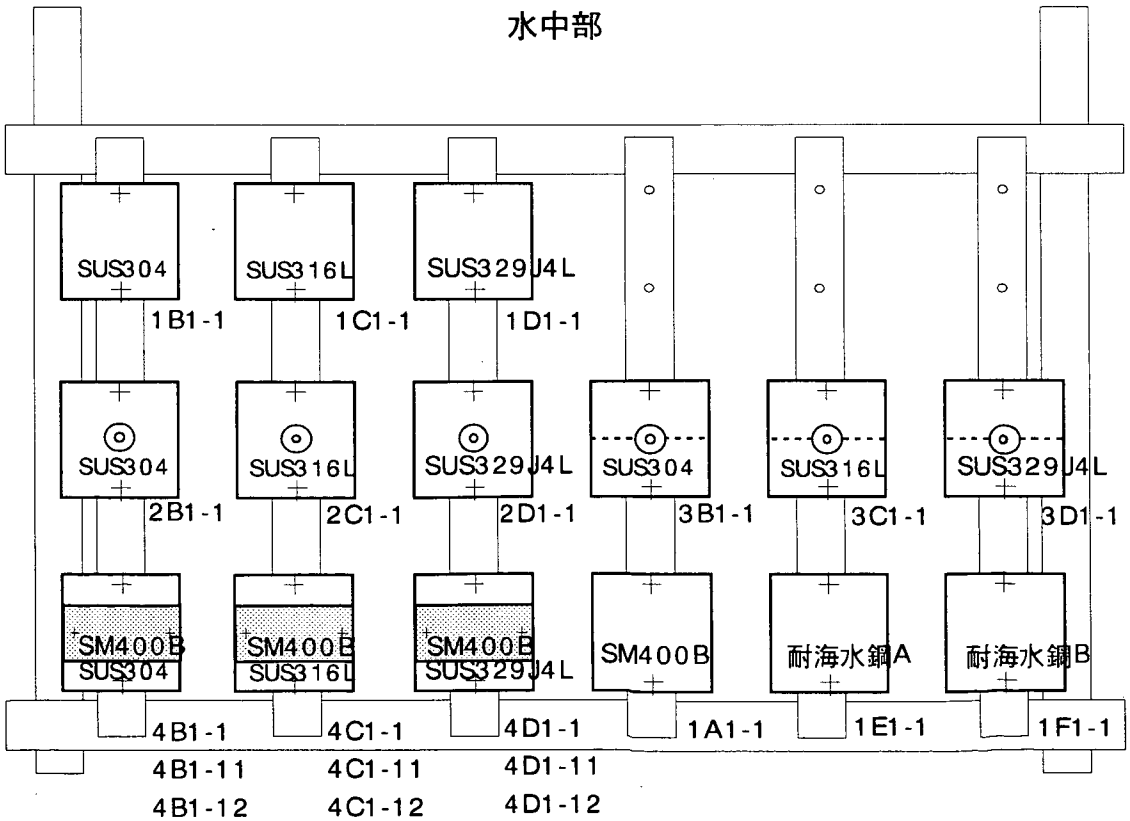


図3.2.3(1)　１年目暴露供試体配置（その1）

江戸川下流域暴露（その１）

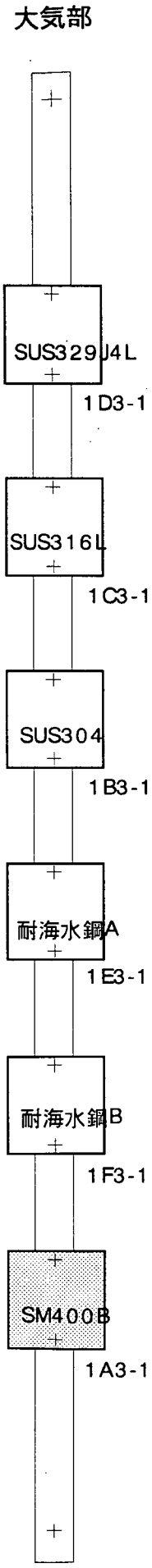
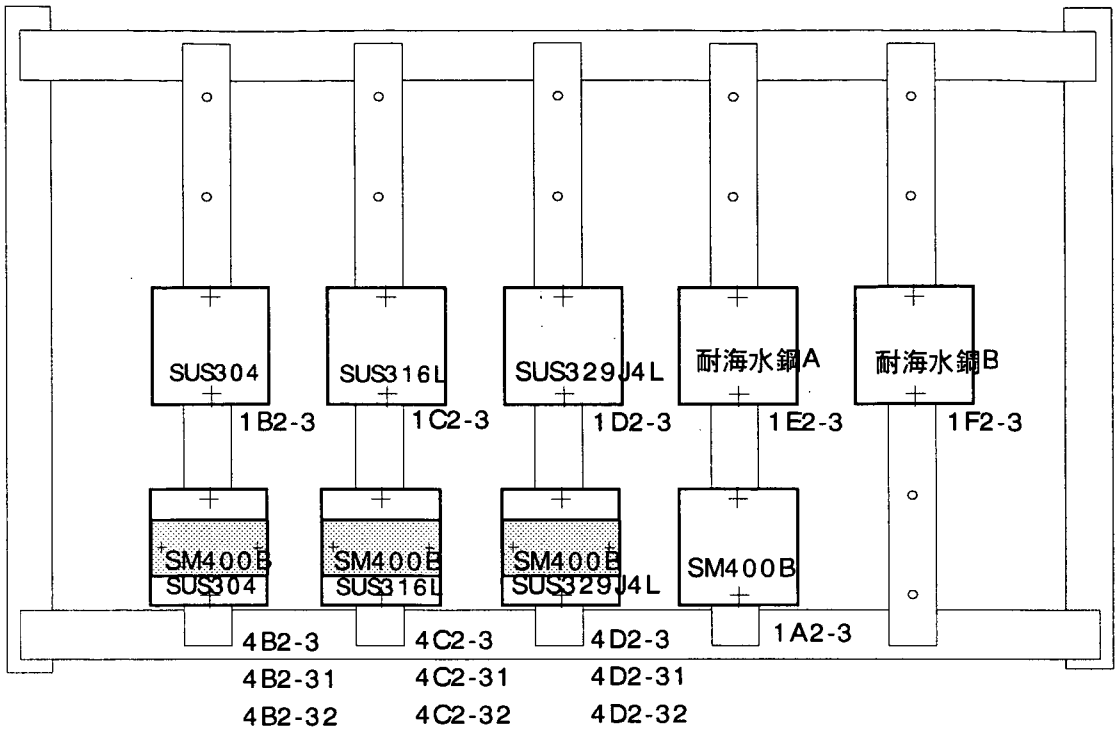


図3.2.3(2)　１年目暴露供試体配置（その１）

干満部



水中部

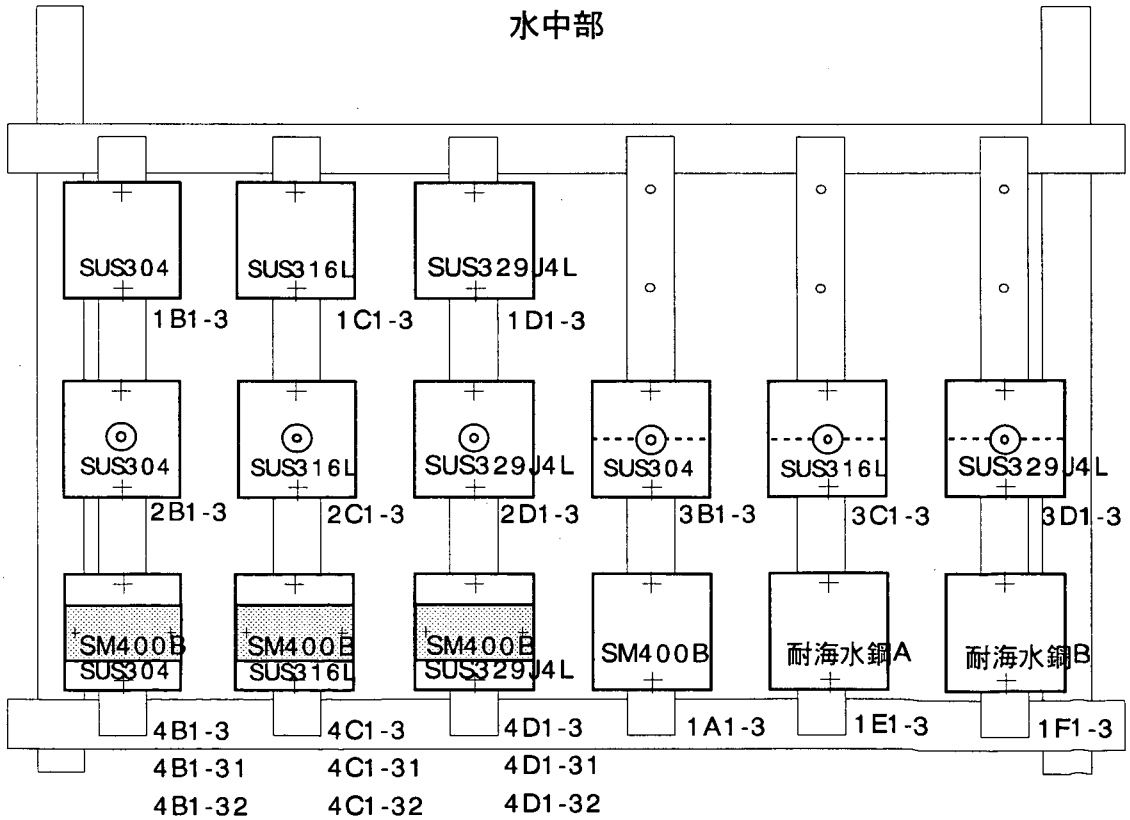


図3.2.3(3)　３年目暴露供試体配置（その1）

江戸川下流域暴露（その１）　　大気部

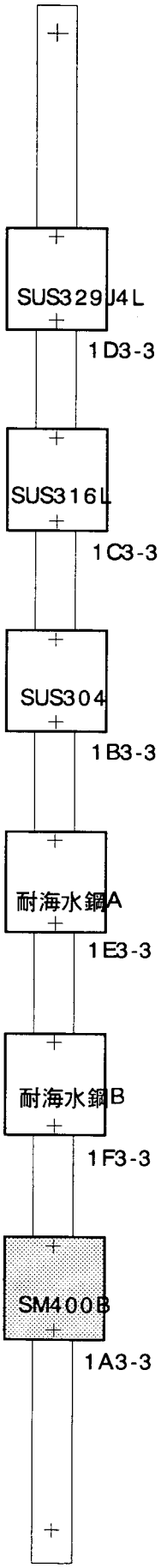
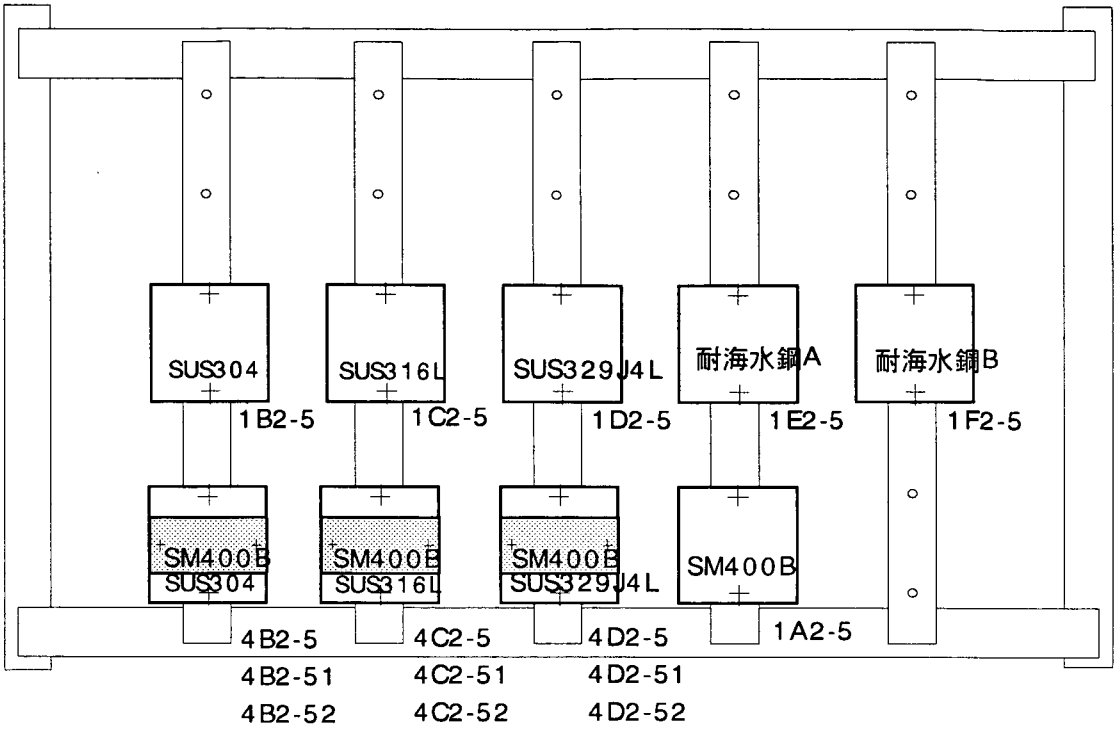


図3.2.3(4)　３年目暴露供試体配置（その1）

江戸川下流域暴露（その１）

干満部



水中部

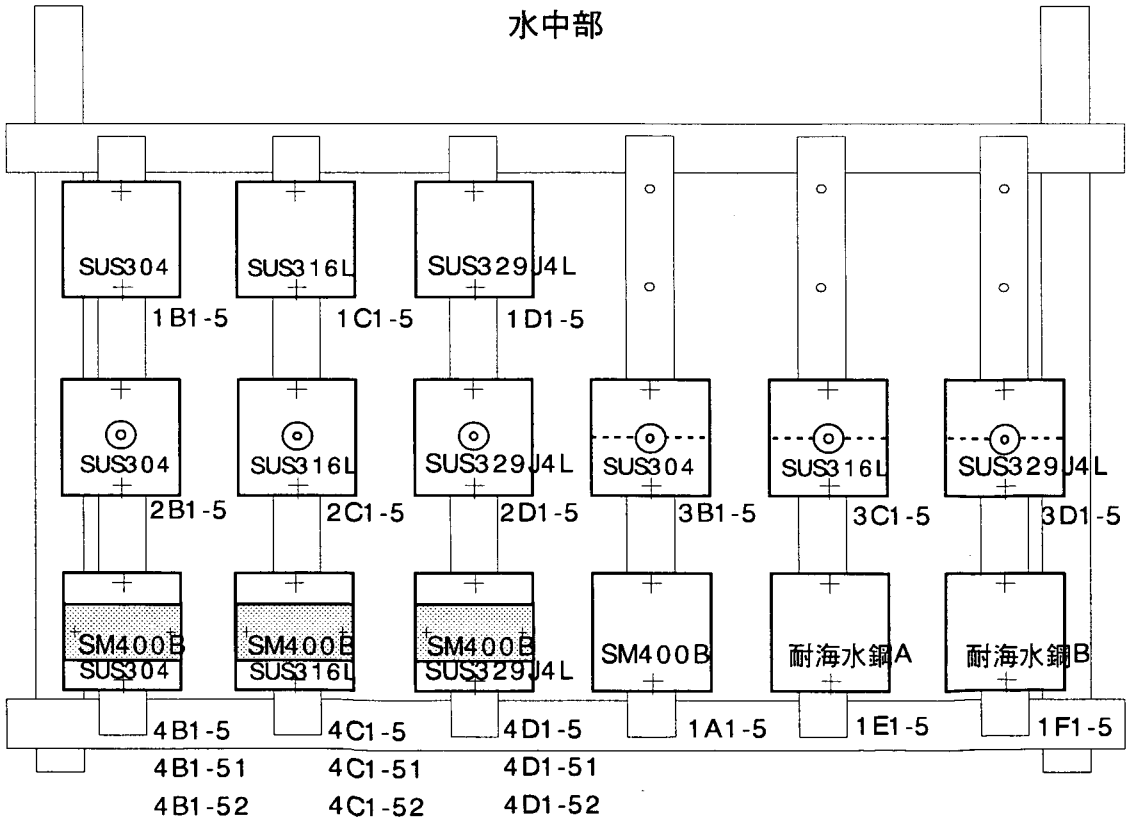


図3.2.3(5)　５年目暴露供試体配置（その１）

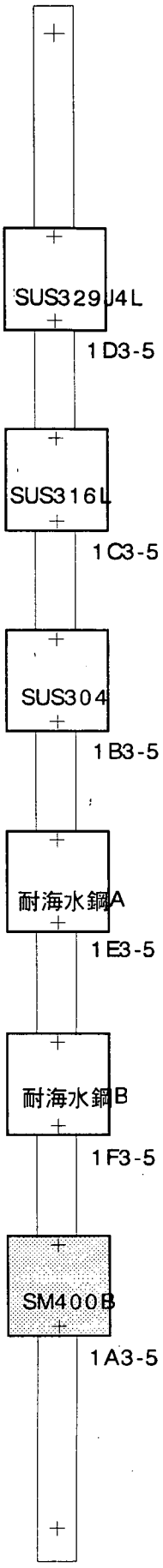
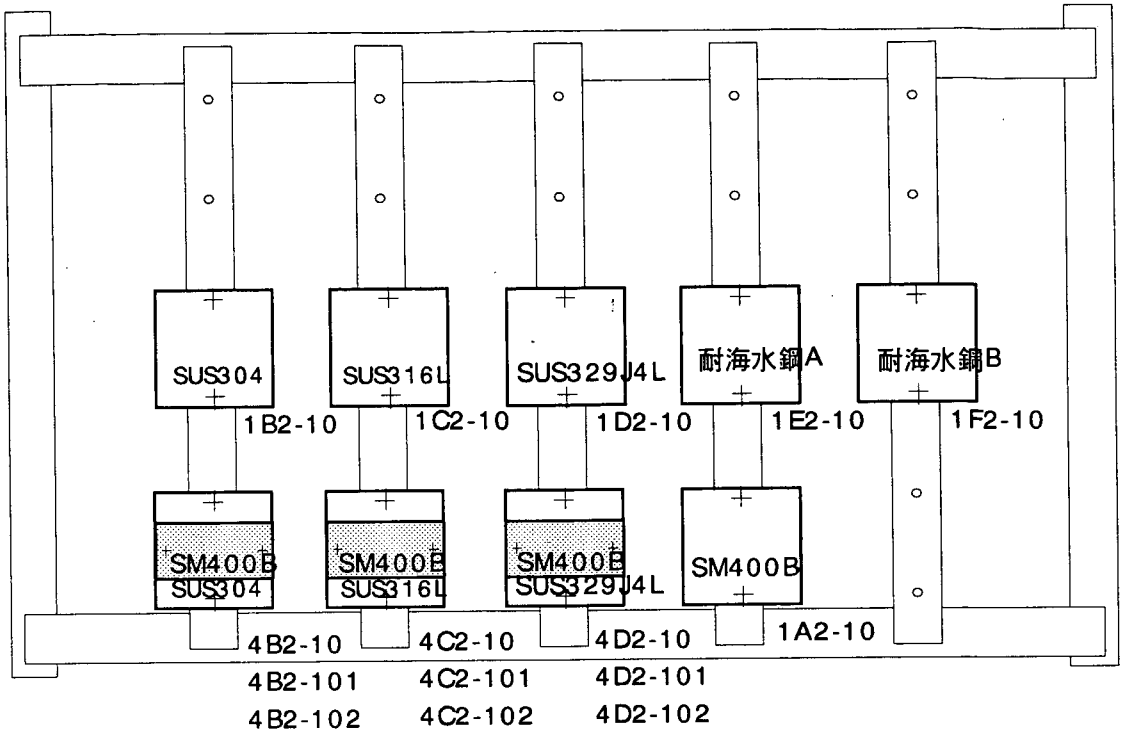


図3.2.3(6)　５年目暴露供試体配置（その１）

江戸川下流域暴露（その１）

干満部



水中部

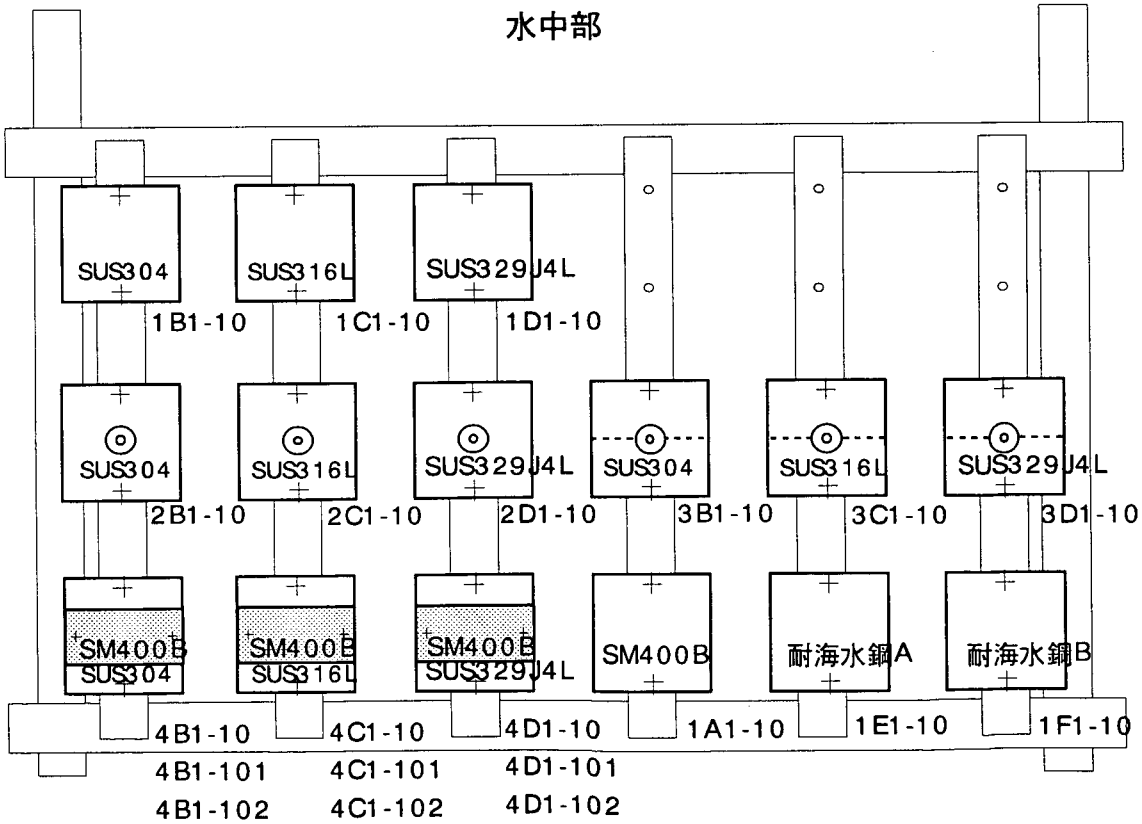


図3.2.3(7)　10年目暴露供試体配置（その１）

江戸川下流域暴露（その１）　　大気部

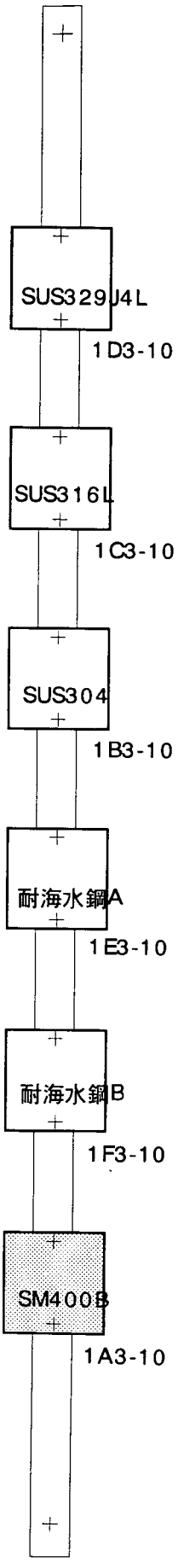
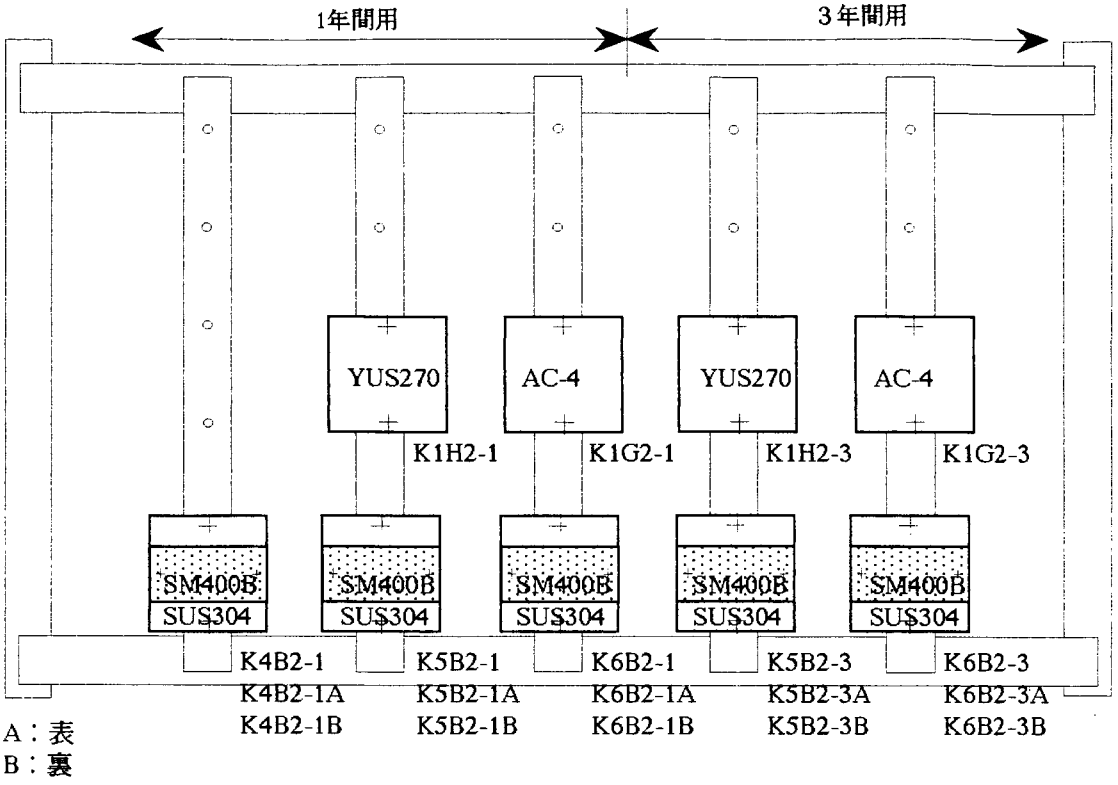


図3.2.3(8)　10年目暴露供試体配置（その１）

干満部



水中部

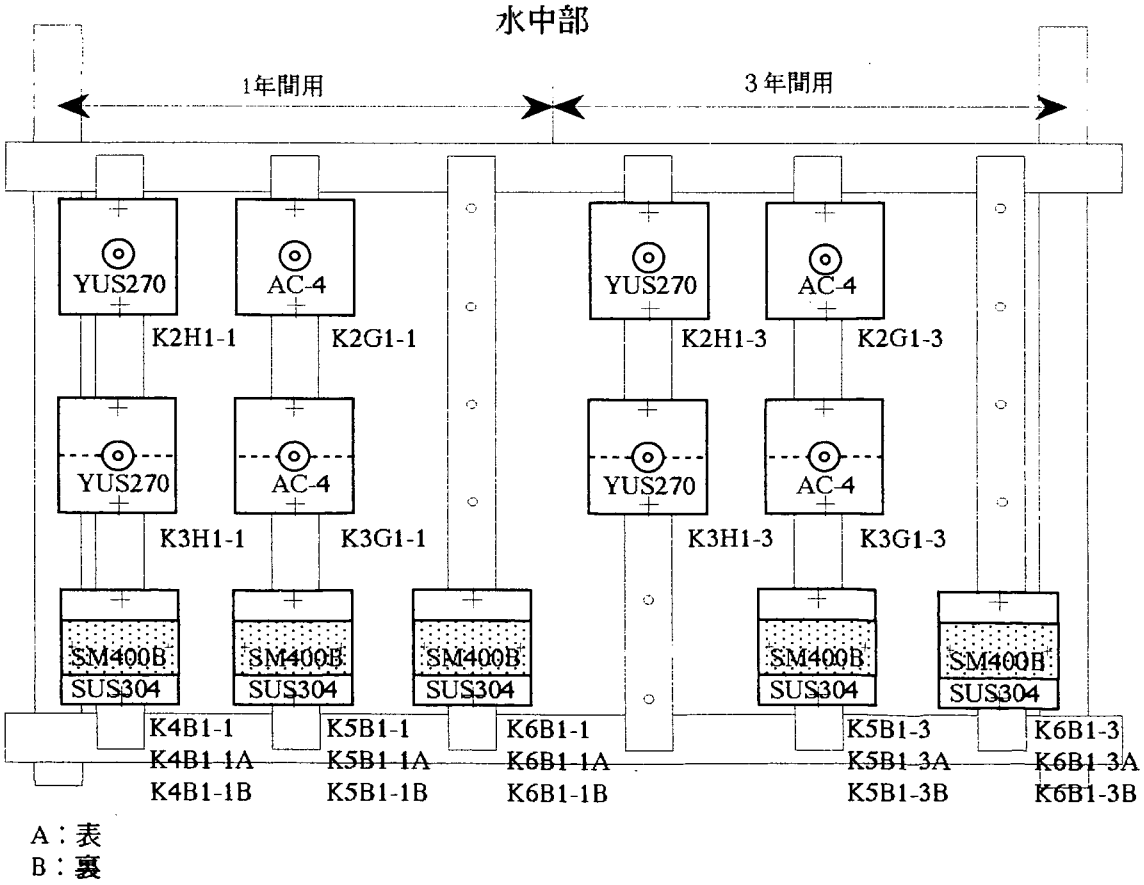
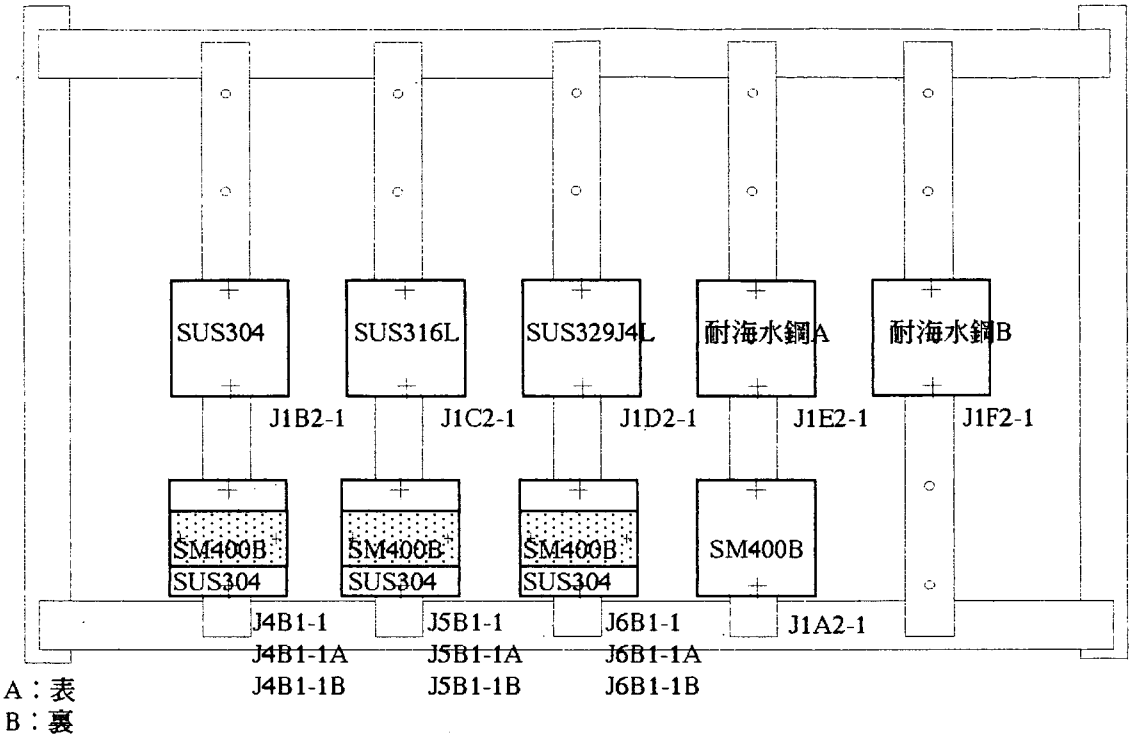


図3.2.4　1年間,3年間兼用暴露供試体配置

江戸川上流部暴露

干満部



A：表
B：裏

水中部

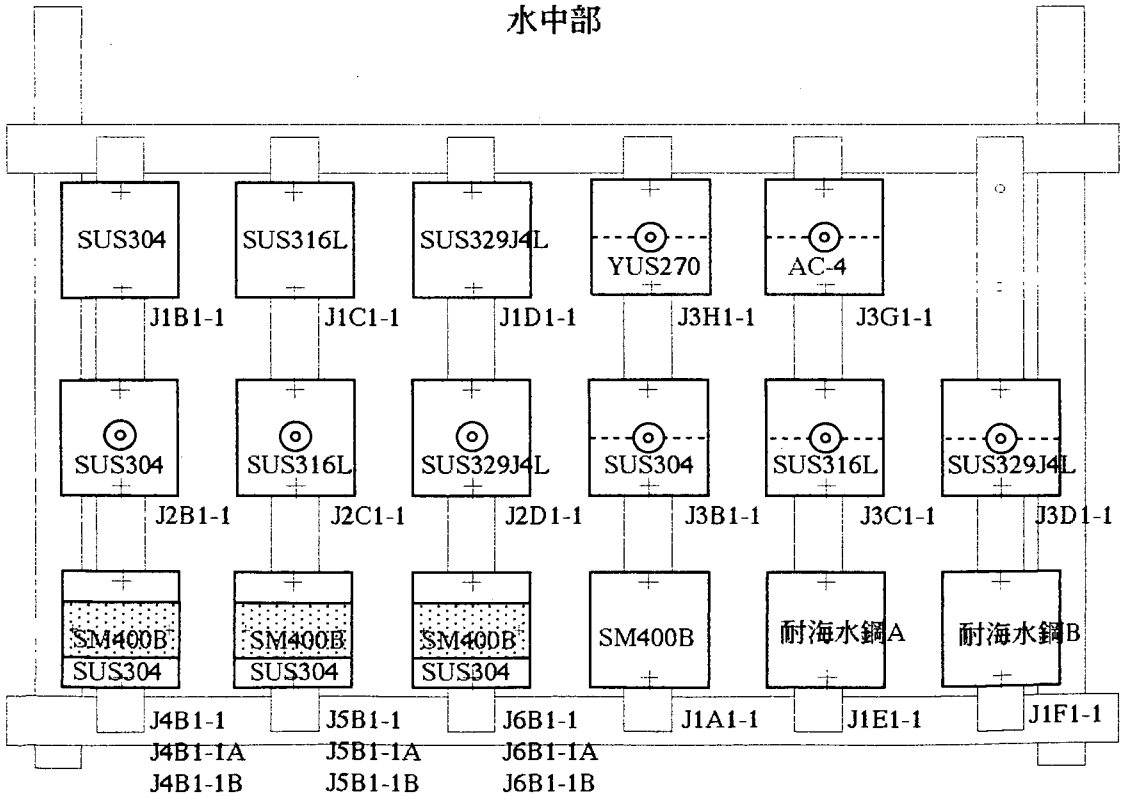
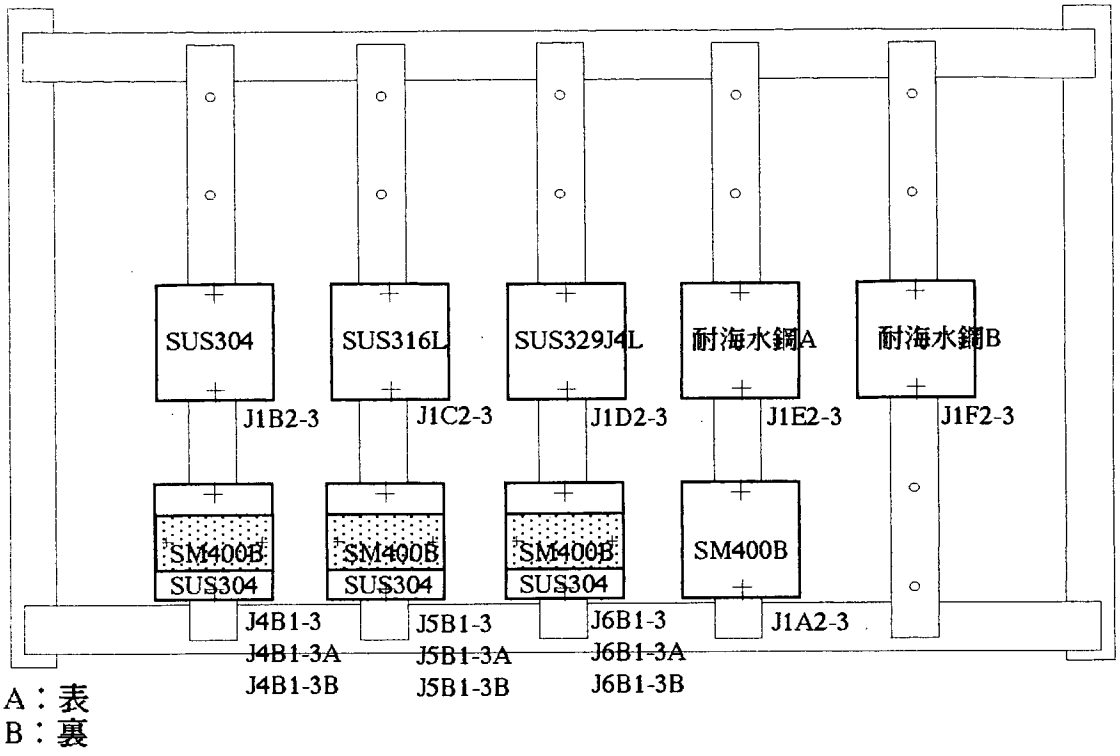


図3.2.5(1)　1年間暴露供試体配置

江戸川上流部暴露

干満部



A：表
B：裏

水中部

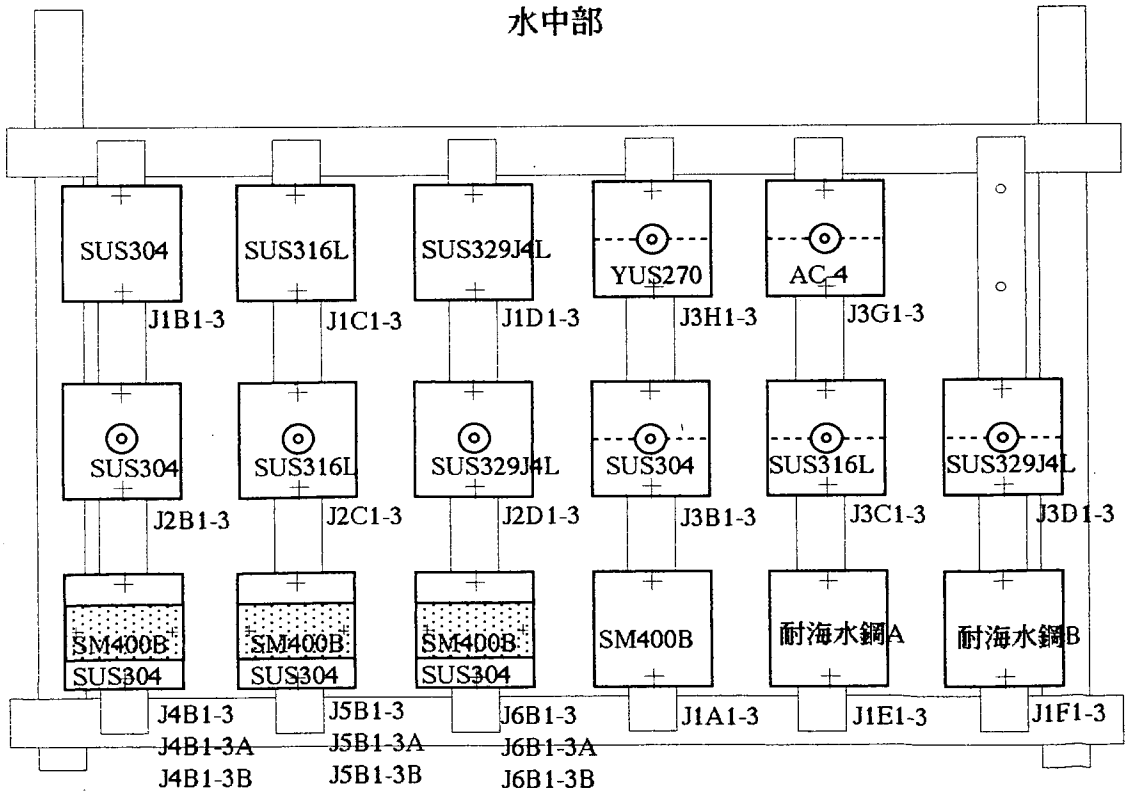
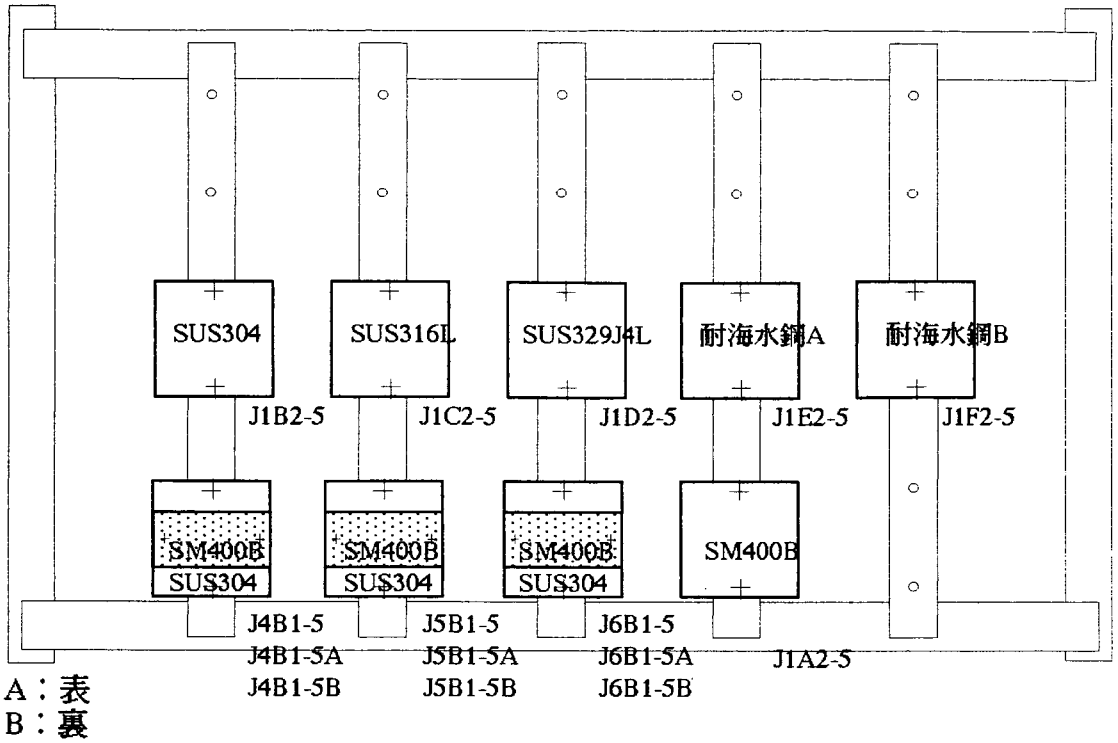


図3.2.5(2)　3年間暴露供試体配置

江戸川上流部暴露

干満部



A：表
B：裏

水中部

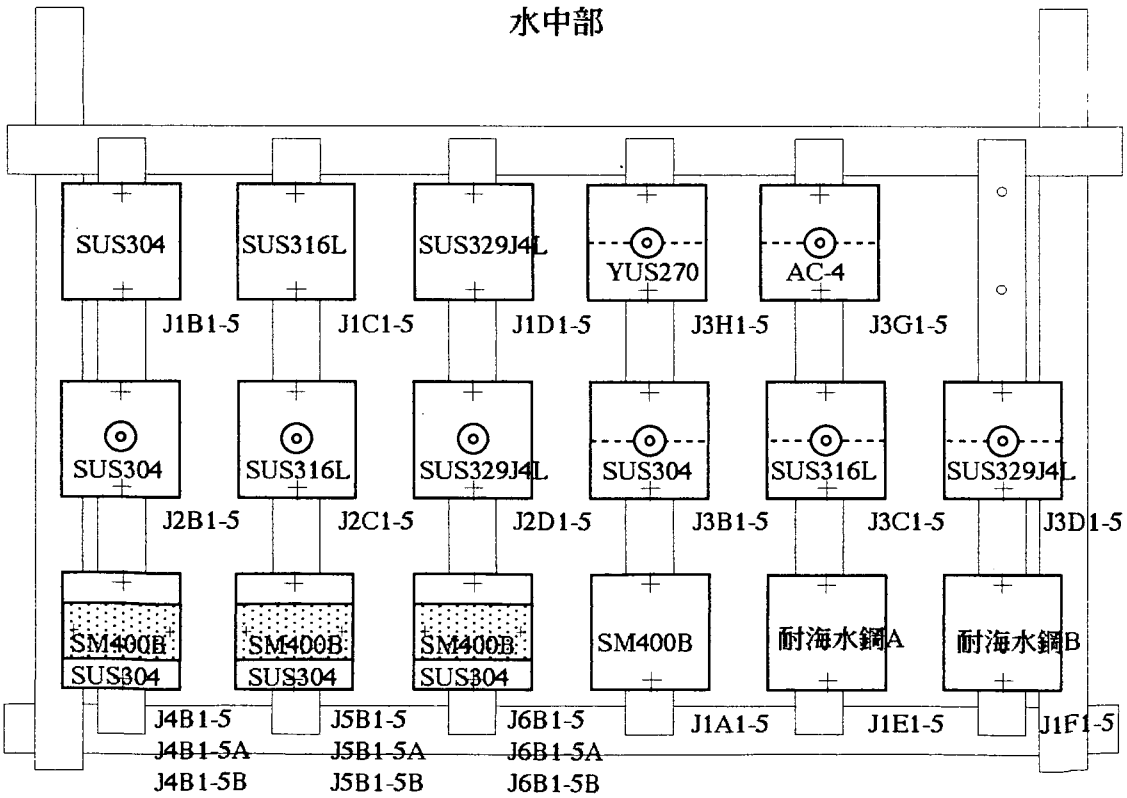
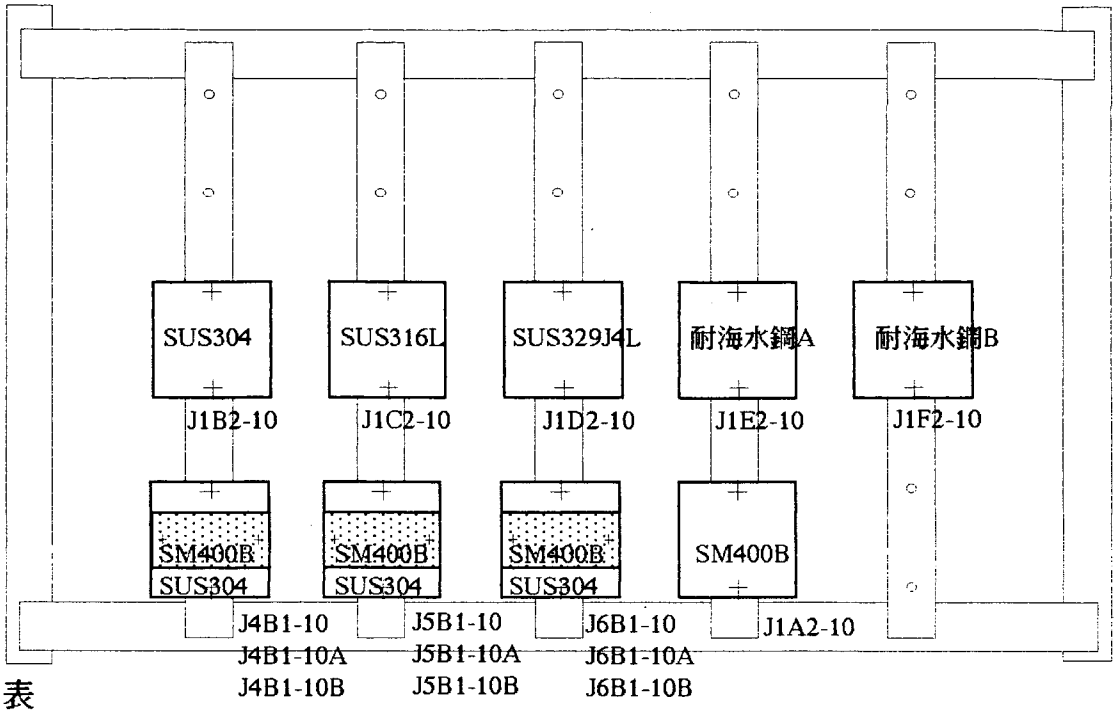


図3.2.5(3)　5年間暴露供試体配置

江戸川上流部暴露

干満部



A：表
B：裏

水中部

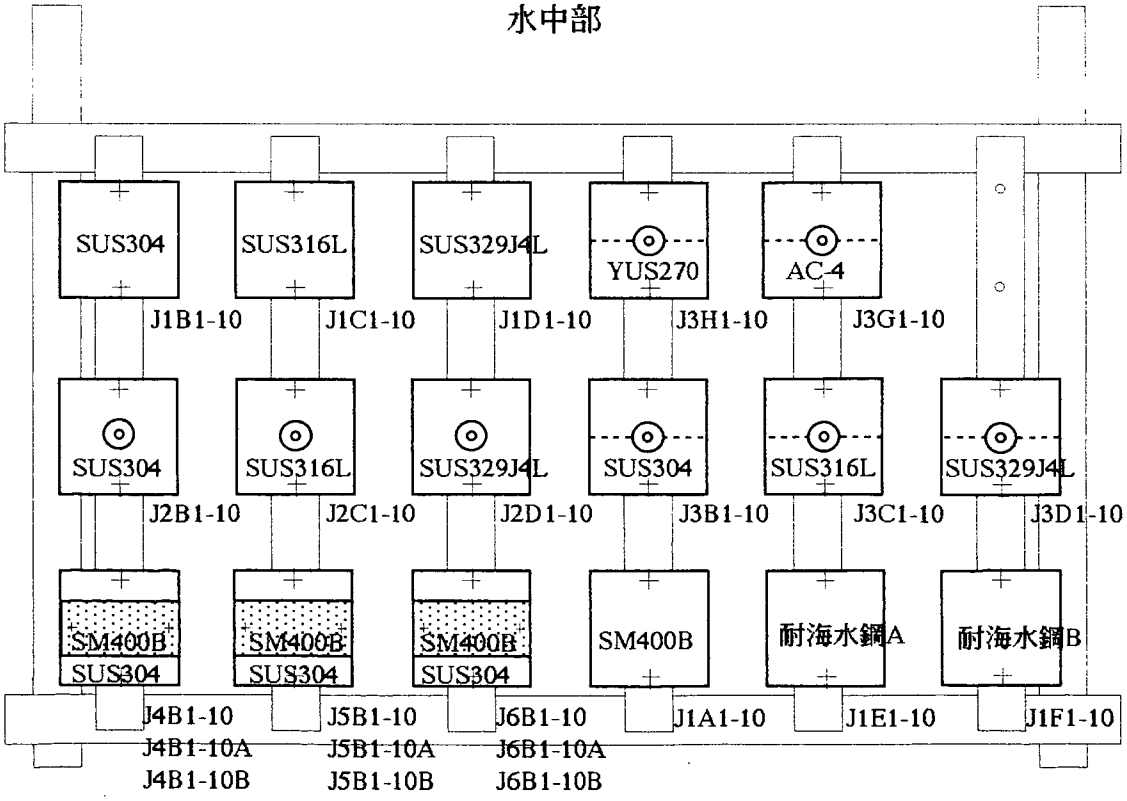


図3.2.5(4)　１０年間暴露供試体配置

3．3汽水域における試験（下流域）

3．3．1目的

河口堰等の鋼構造物を対象とした防食設計指針の確立にむけて、基礎的データを得るために、ステンレス材料を中心とした耐食材料の暴露試験を江戸川河口堰下流で平成6年9月8日に開始した。また、SM400Bは暴露環境を総合的に評価する目的で暴露した。

3．3．2試験条件

(1)供試材

暴露した材料(SM400B, SUS304, SUS316L, SUS329J4L, 耐海水鋼)とその主な化学成分を表3.3.1に示す。

表3.3.1　供試材の化学成分　　（Wt／%）

鋼種＼元素		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他の元素
SM400B	※1 A	0.12	0.23	0.62	0.014	0.002	—	—	
	※2 B	0.179	0.15	0.78	0.025	0.0115	0.018	0.022	0.014Cu
SUS304		0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	
SUS316L	※3 A	0.019	0.62	0.90	0.03	0.001	12.10	17.47	2.1Mo
	※4 B	0.019	0.46	0.90	0.026	0.0009	12.24	17.54	2.1Mo-0.26Cu
SUS329J4L		0.019	0.56	0.91	0.023	0.001	7.26	24.86	2.98Mo-0.42Cu-0.29W-0.15N
YUS270		0.014	0.51	0.55	0.021	0.001	18.11	20.14	6.18Mo-0.66Cu-0.202N
AC-4		0.014	0.51	0.79	0.022	0.003	20.98	23.06	0.09Cu-6.10Mo-0.25N
耐海水鋼(A)		0.07	0.39	0.98	0.008	0.001	0.12	1.05	0.26Cu-0.23Mo
耐海水鋼(B)		0.103	0.79	0.79	0.018	0.0029	0.22	0.83	0.19Cu-0.17Mo

※1　全面腐食試験(1A1-1, 1A2-1, 1A3-1)に使用

※2　異種金属接触腐食試験(4B1-11, 4B1-12, 4C1-11, 4C1-12, 4D1-11, 4D1-12, 4B2-11, 4B2-12, 4C2-11, 4C2-12, 4D2-11, 4D2-12)に使用

※3　すき間腐食試験の3C1-1のみに使用

※4　3C1-1以外の試験に使用

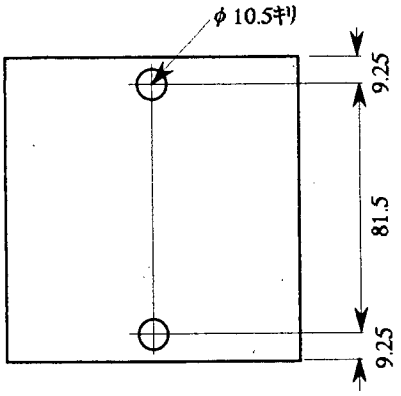
(2)試験片形状

暴露した各供試体(a)母材腐食試験片，(b)すき間腐食試験片，(c)異種金属接触腐食試験片　の詳細仕様を図3.3.1，図3.3.2に示す。

(b)すき間腐食試験片では、母材部にすき間形成材と取り付けた試験片と、溶接部にすき間形成材を取り付けた試験片の2種類とした。また、(c)異種金属接触腐食試験片では、SM400Bと各ステ

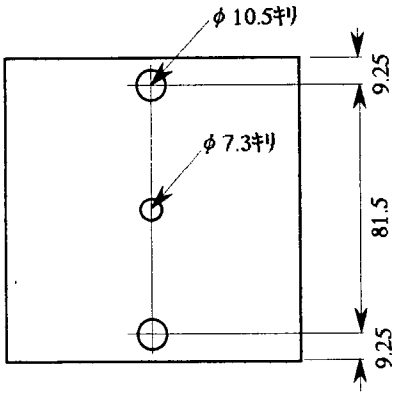
ンレス鋼（SUS304, SUS316L, SUS329J4L）との表面積が等しくなるようにし、図3.3.1に示すようにステンレス鋼をSM400Bで挟みボルトで締め付けた。

単位：mm

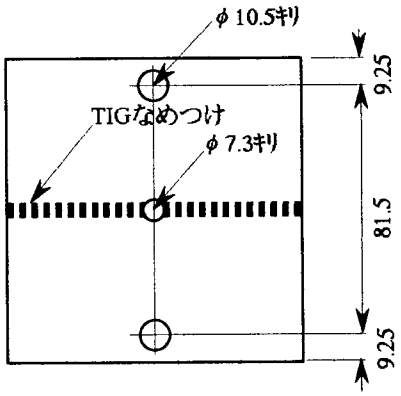


(a) 母材腐食試験片

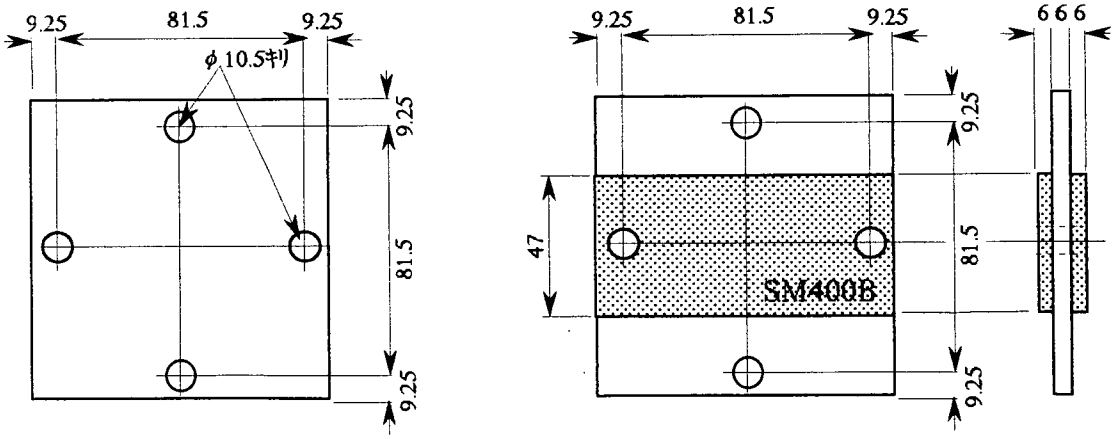
溶接条件：
100A，10cm/min



(b) 母材すき間腐食試験片

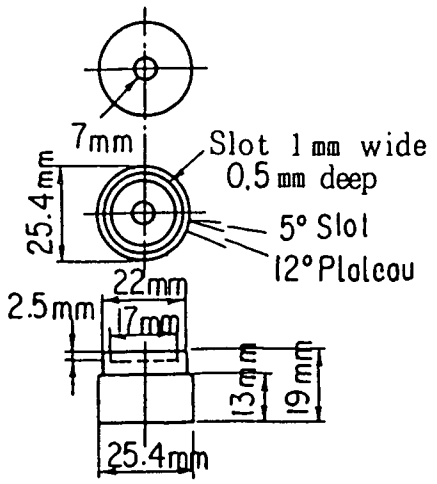


(c) 溶接すき間腐食試験片

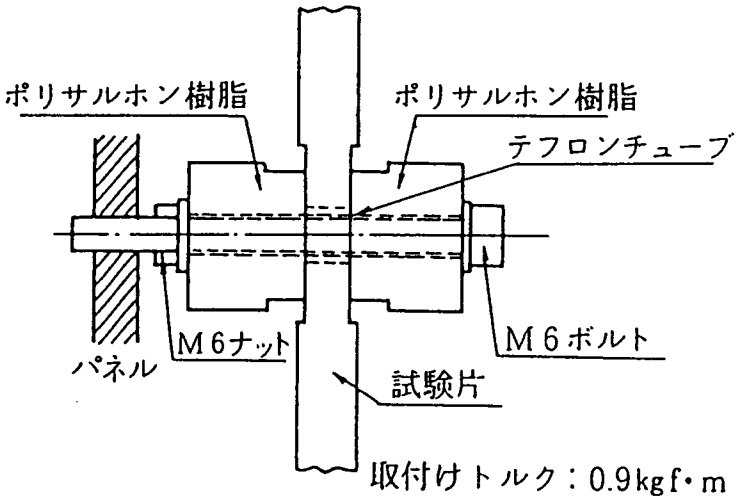


(d) 異種金属接触腐食試験片　　面積比 1：1

図 3.3.1　江戸川河口堰・暴露供試体寸法図



(a)すき間形成材



(b)すき間腐食試験片装着状況

図3.3.2　すき間腐食試験用治具

３．３．３調査項目

(1)水質

腐食環境を把握するために調べる。

(2)外観観察

各種材料の腐食状況を調べる。

(3)腐食速度評価

材料間の耐久性を調べる

(4)すき間腐食状況

1)すき間部およびすき間外の腐食状況および腐食深さを測定する。

2)すき間以外での孔食発生状況および孔食深さを測定する。

(5)自然電位測定

現場での水洗い前後の自然電位を測定する。

(6)異種金属接触腐食

1)SM400Bとステンレス鋼との接触腐食させた時の各々の腐食性を調べる。

2)ステンレス鋼へのもらい錆の効果について調べる。

３．３．４調査結果

(1)水質

江戸川河口堰下流(汽水域)および上流(淡水域)で採取した水質分析の結果を表3.3.2に示す。採取は干潮時，満潮時および中間時の３回行った。

表3.3.2　水質分析結果

箇　所	下　流	上　流	下　流	下　流	上　流
潮　位	干潮時	干潮時	中間時	満潮時	満潮時
H6年4月29日採取時刻	10時20分	10時40分	13時50分	17時00分	17時20分
Cl^- (mg/l)	20	16	18	18	16
電気伝導度(mS/m)	18.1	17.1	17.9	17.1	16.9
溶存酸素 (mg/l)	9.4	9.3	9.3	9.2	9.4
SO_4^{2-} (mg/l)	20	23	22	21	21
NO_3^- (mg/l)	4.9	4.4	4.4	4.4	4.4
Na^+ (mg/l)	16	14	14	14	13
Ca^+ (mg/l)	13	12	13	13	12
Mg^+ (mg/l)	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1
化学的酸素消費量 COD	4	4	4	4	4
生物化学的酸素消費量 BOD	3	3	3	3	3

注：水の採取は、水面下-0.5～-1.0mから行った。

(2)外観観察

下流（汽水域）・水中部で１年間暴露試験後取り出したままの腐食状況を写真3.3.1に示す。表側は電位測定時に水洗いしたため貝（フジツボ）等が付着が少ないが、裏側には貝や藻類が付着している。SS400Bおよび耐海水鋼ＡとＢはいずれも貝や藻などが付着していなくて、赤錆が発生していた。

下流（汽水域）・干満部で１年間暴露試験後取り出したままの腐食状況を写真3.3.2に示す。表側はいずれの試験片も大気中に曝されていたため貝等の付着がなく、ヘドロが乾燥したと思われる灰色の物質で覆われていた。

大気部で１年間暴露試験後の取り出したままの腐食状況を写真3.3.3に示す。SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lは金属光沢を示し局部腐食が生じていない。SM400Bは赤錆が発生しているが、耐海水鋼Ａ，Ｂは若干赤錆から黒茶へ変化していた。

SM400Bの１年間暴露された腐食状況を写真3.3.4に示す。水中部は凹凸状に腐食されているが、干満部および大気部は均一に腐食されている。腐食状況から局部腐食性は大気部＜干満部＜水中部の順で腐食が厳しい様であるが、全面腐食性からでは大気部≪水中部＜干満部の順で腐食が進行している。

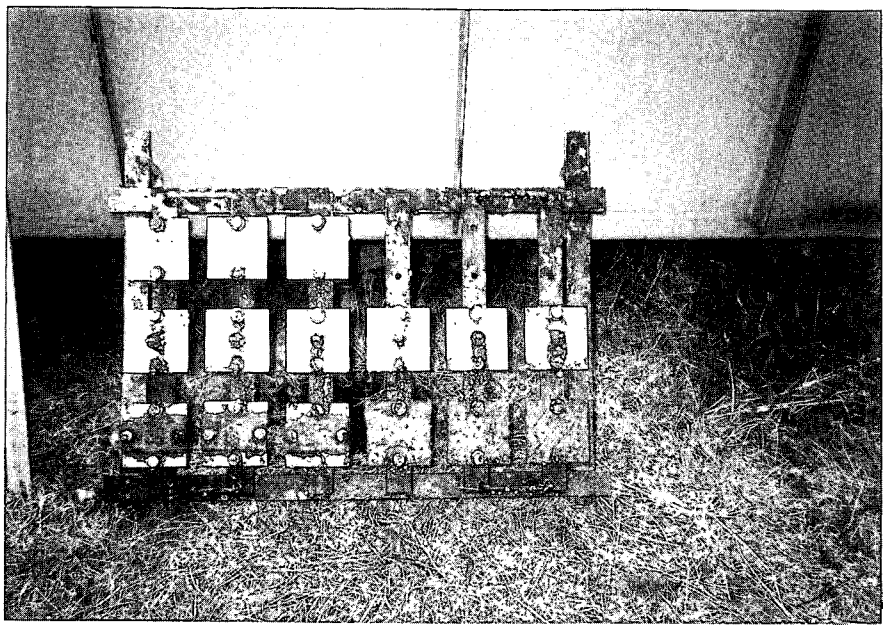
一方、耐海水鋼Ａ，Ｂの腐食状況を写真3.3.5，3.3.6に示す様に水中部の腐食は凹凸状に腐食しているが、干満部および大気部は均一腐食であった。耐海水鋼Ａ，Ｂは大気部≪水中部≒干満部の順で腐食が進行している。

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lの１年間暴露された腐食状況を写真3.3.7～3.3.9に示す。いずれの試験片も明瞭な孔食が認められなかったが、ＦＲＰのワッシャの下ですき間腐食が水中部で生じていた。

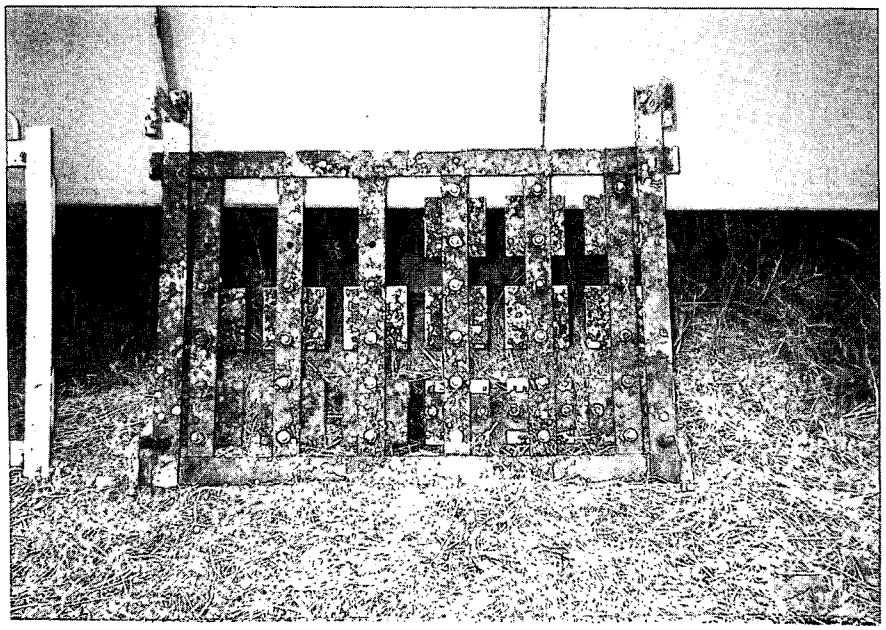
局部腐食性を光学顕微鏡で詳細に調べた結果を写真3.3.10に示す。SUS304とSUS316Lは微細な孔食が生じている。

すき間腐食試験後の腐食状況を写真3.3.11と3.3.12に示す。SUS304はすき間部ではすき間腐食が生じていないが、SUS316LおよびSUS329J4Lに生じていた。しかしこの深さは非常に浅い。

水中部および干満部に１年間暴露された異種金属接触腐食試験後の腐食状況を写真3.3.13と3.3.14に示す。SUS304はSM400Bとの接触部でごく微細な孔食が生じていたがSUS316LおよびSUS329J4Lは生じていなかった。

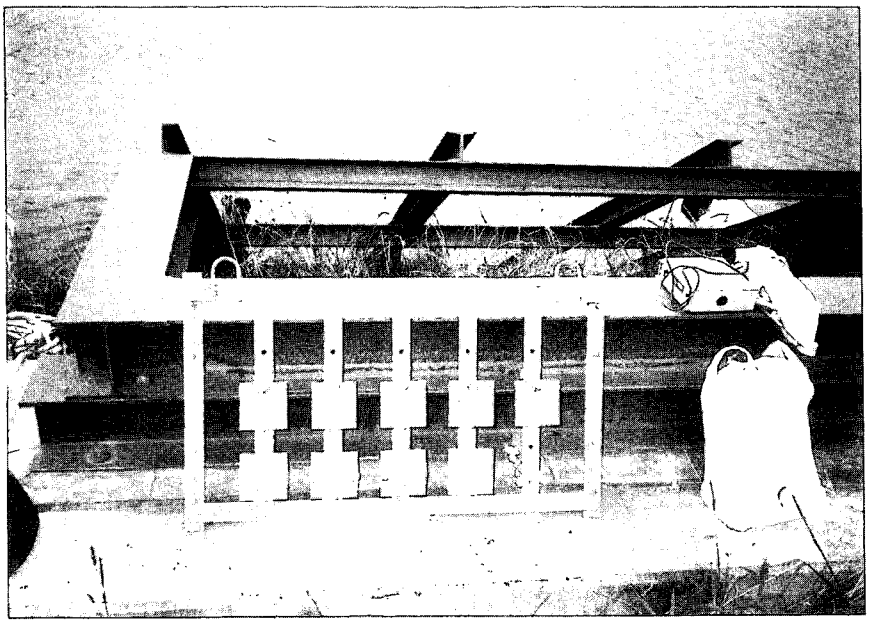


表側（一部付着物を除去）

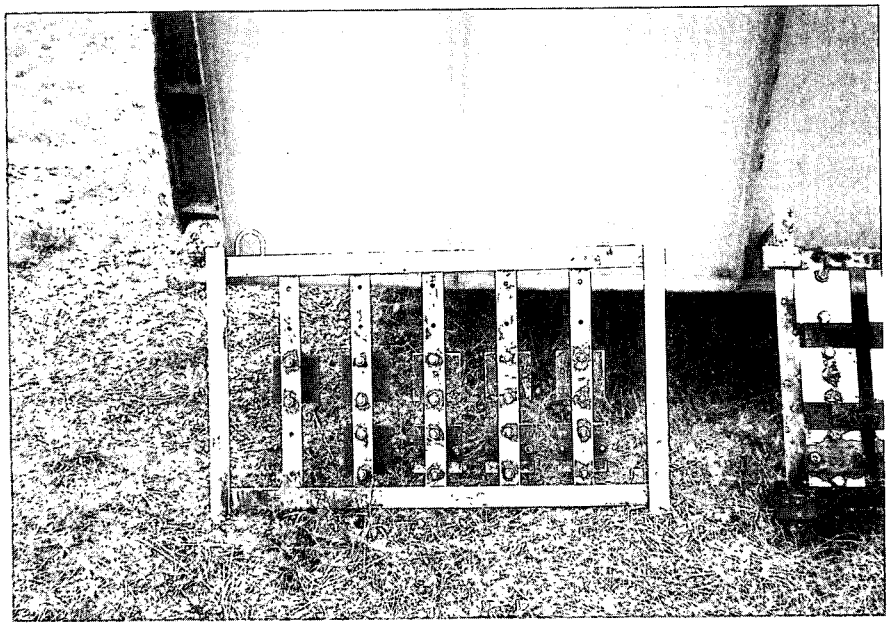


裏側

写真3.3.1　水中部暴露試験体状況
［江戸川河口堰・下流・1年目暴露試験］



表側



裏側

写真3. 3. 2　干満部暴露試験体状況
[江戸川河口堰・下流・1年目暴露試験]

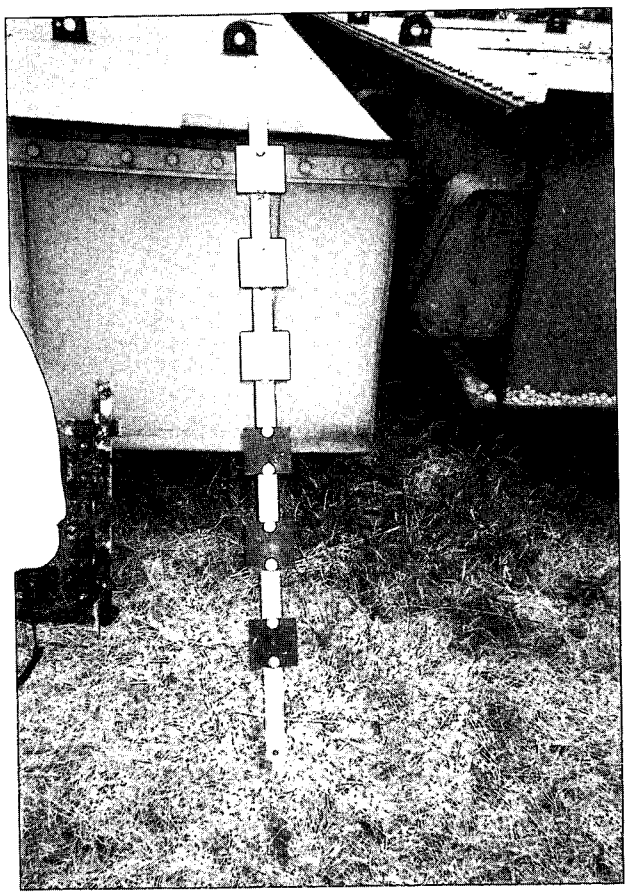


写真3. 3. 3 大気部暴露試験体状況

[江戸川河口堰・下流・1年目暴露試験]

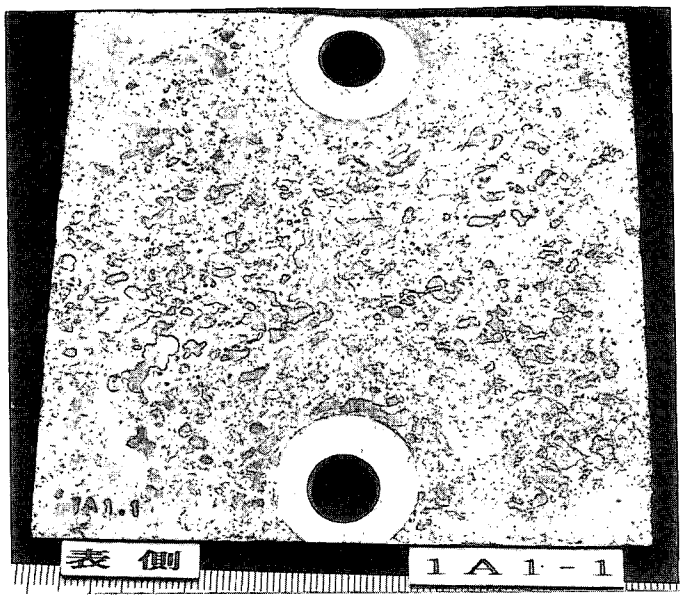
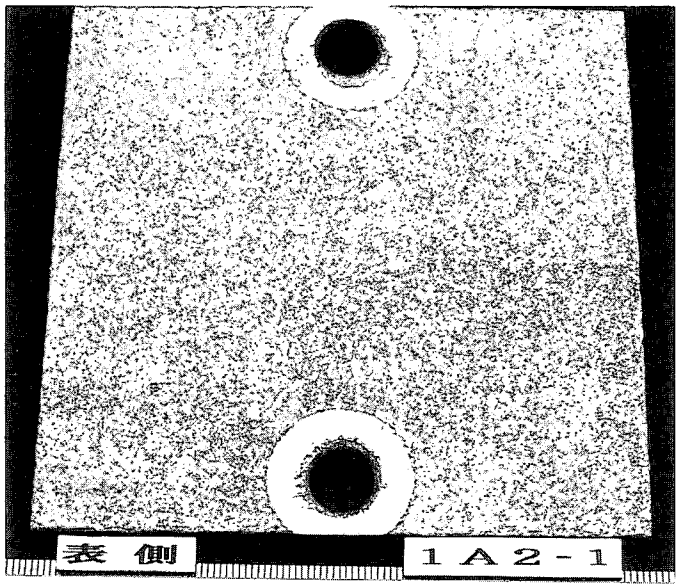
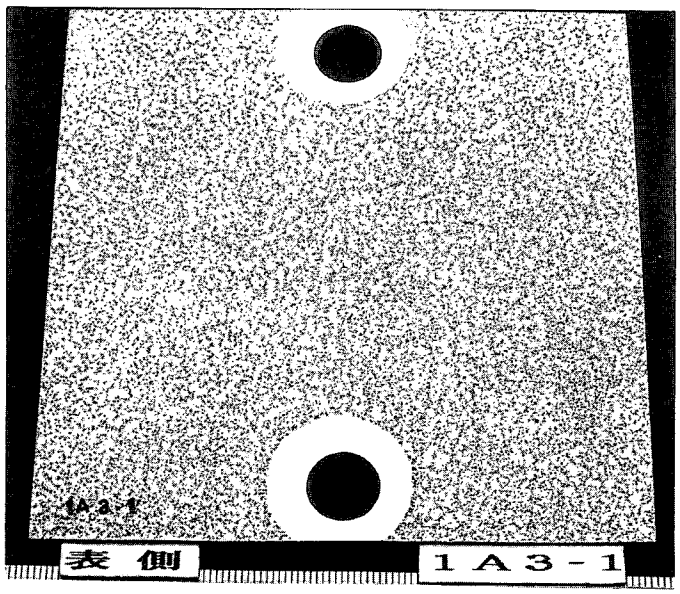
水　中　部 （１Ａ１－１）	
干　満　部 （１Ａ２－１）	
大　気　部 （１Ａ３－１）	

写真3.3.4　江戸川河口堰に１年間暴露されたＳＭ４００Ｂ（母材腐食試験片）の腐食状況

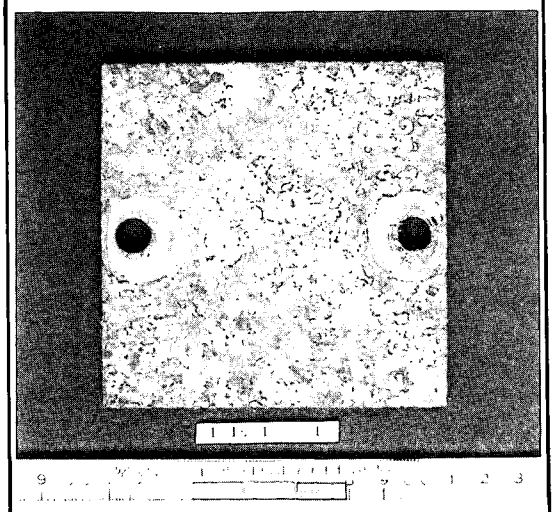
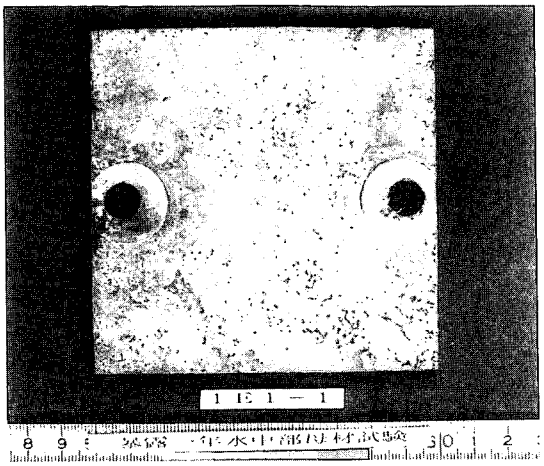
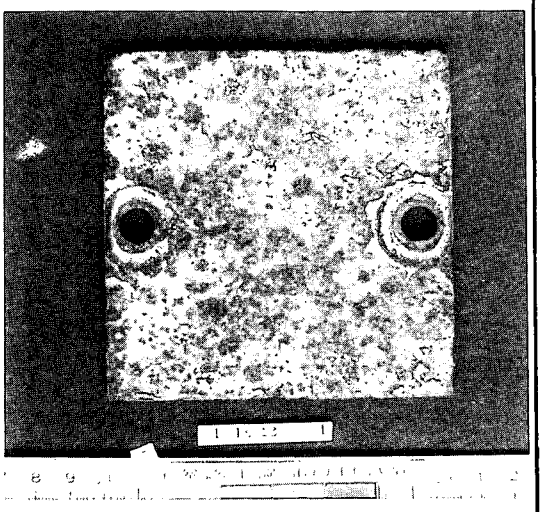
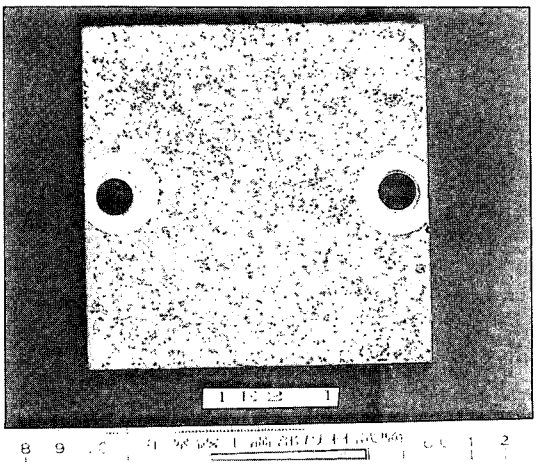
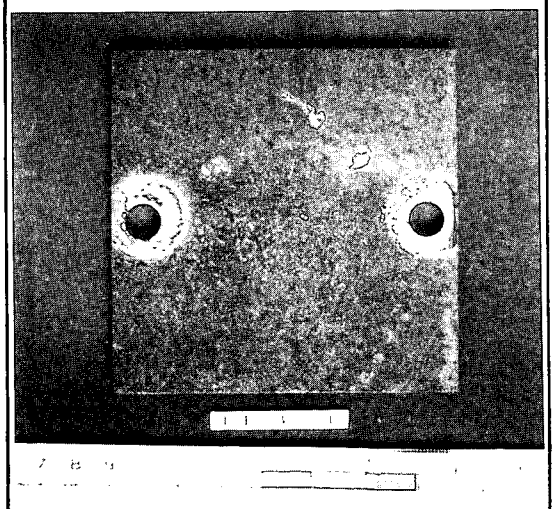
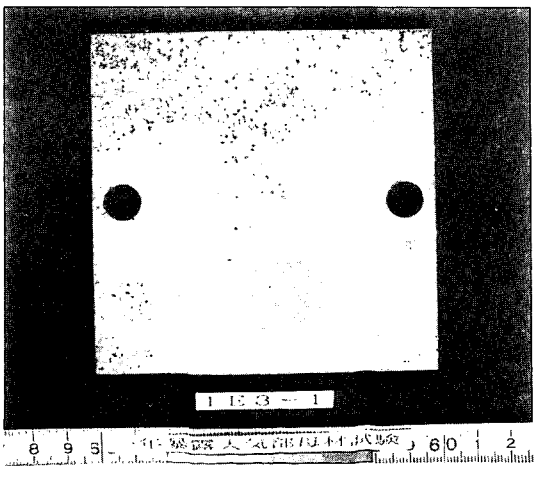
	取り出しのまま	脱スケール後
水　中　部 （1E1-1）		
干　満　部 （1E2-1）		
大　気　部 （1E3-1）		

写真3.3.5　江戸川河口堰に1年間暴露された耐海水鋼A（全面腐食試験片）の腐食状況

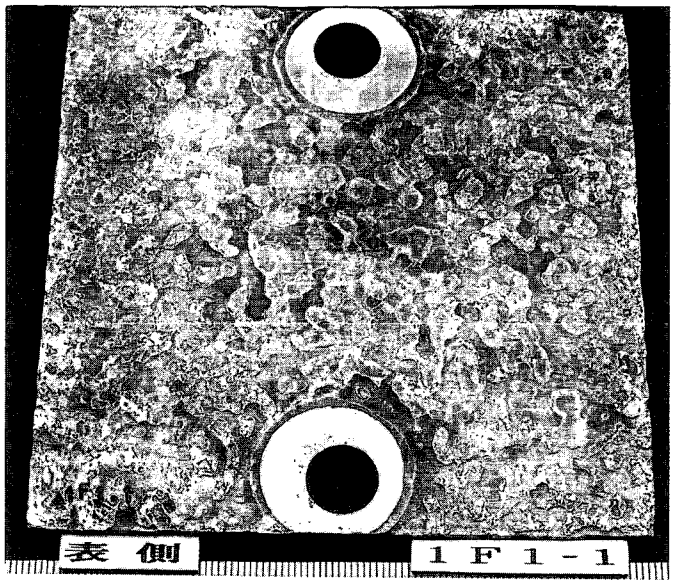
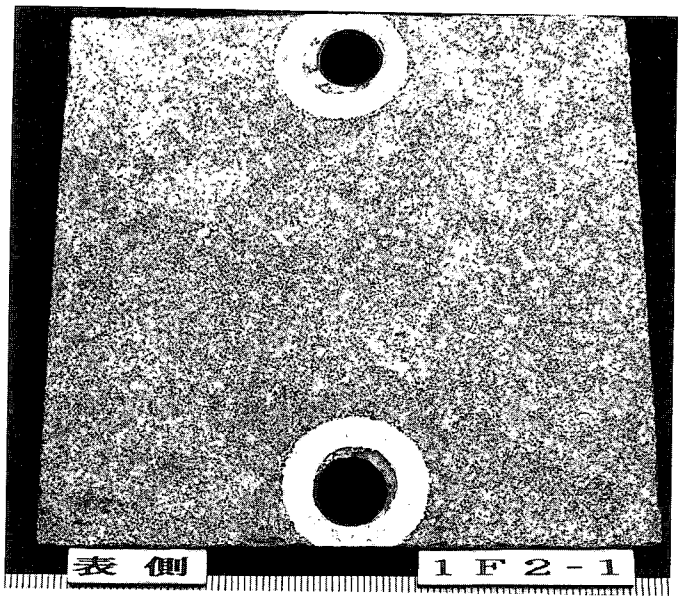
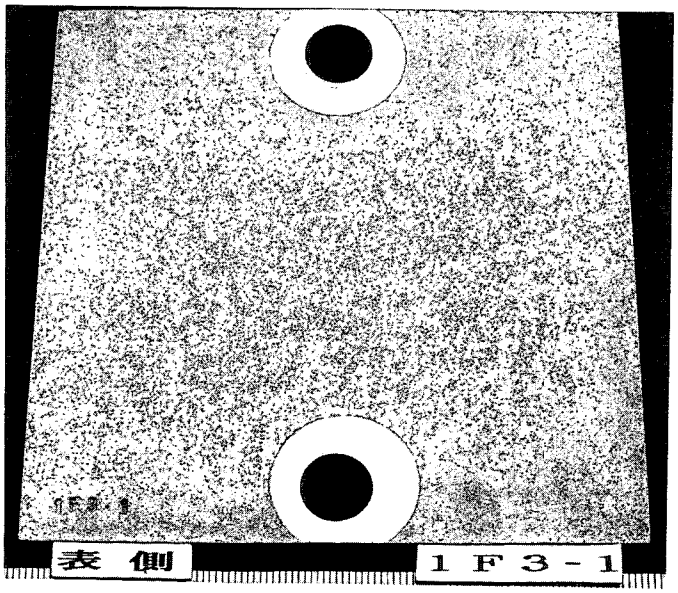
水　中　部 （１Ｆ１－１）	
干　満　部 （１Ｆ２－１）	
大　気　部 （１Ｆ３－１）	

写真3.3.6　江戸川河口堰に１年間暴露された耐海水鋼Ｂ（母材腐食試験片）の腐食状況

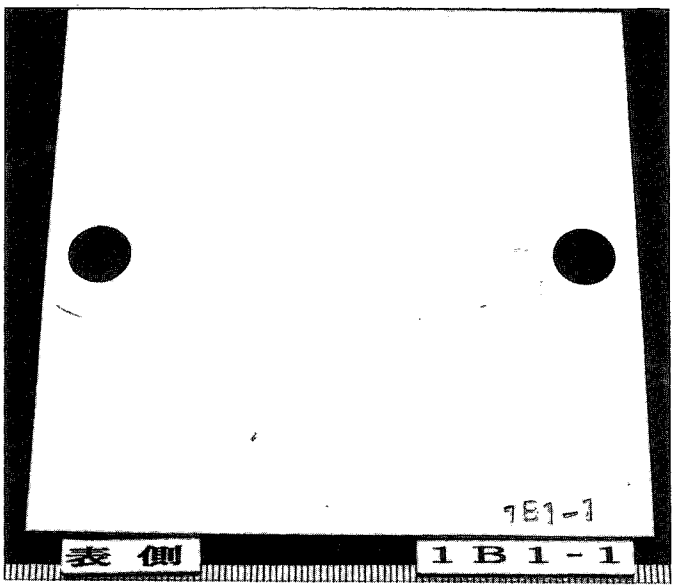
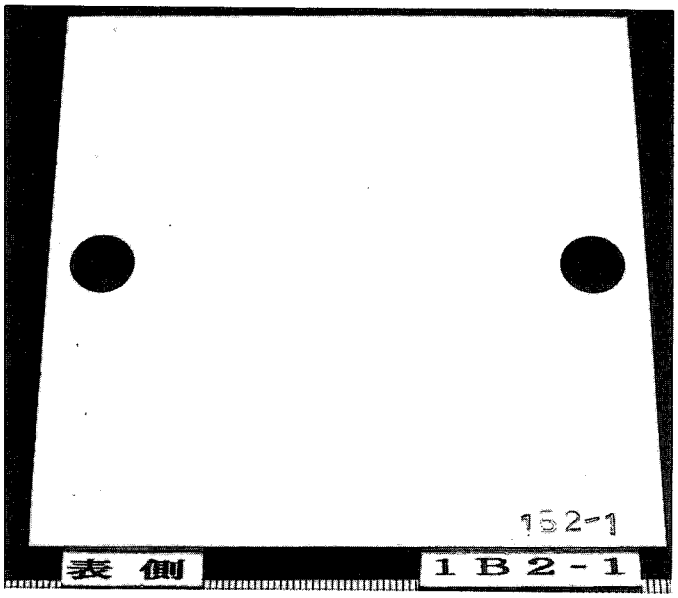
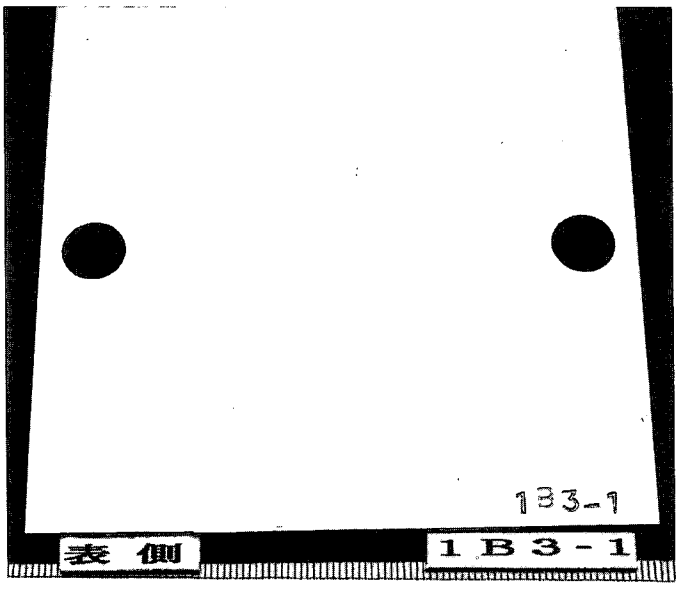
水 中 部 （1B1－1）	
干 満 部 （1B2－1）	
大 気 部 （1B3－1）	

写真3.3.7　江戸川河口堰に１年間暴露されたＳＵＳ３０４（母材腐食試験片）の腐食状況

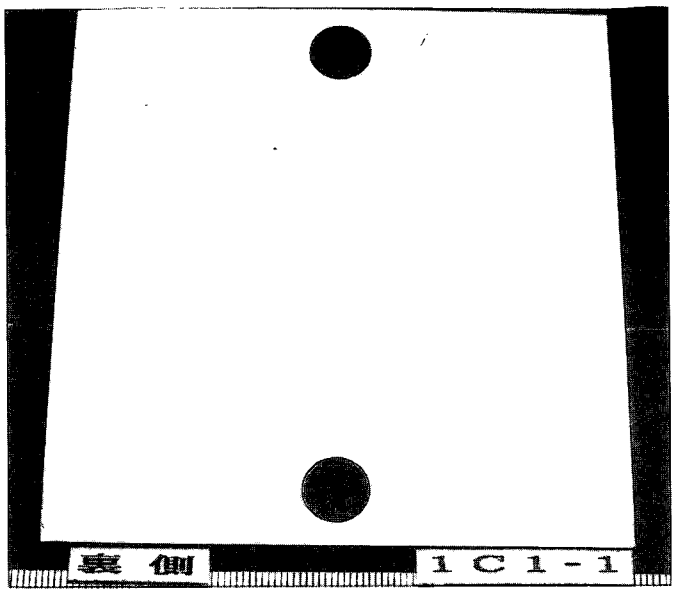
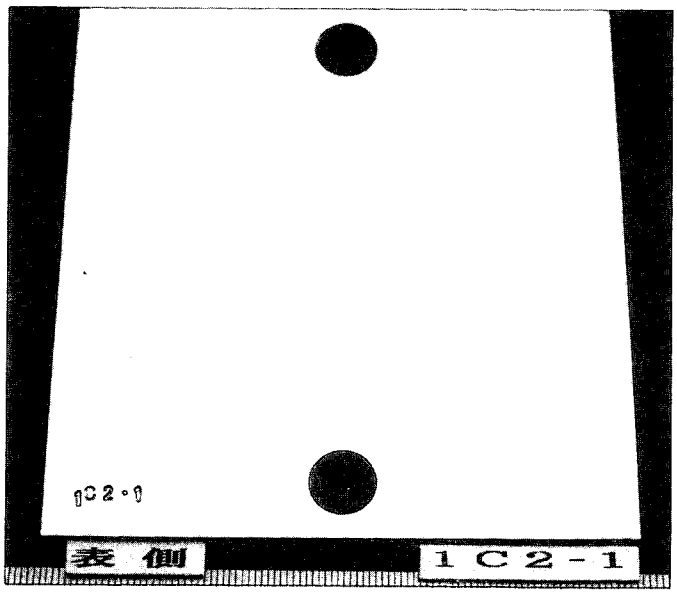
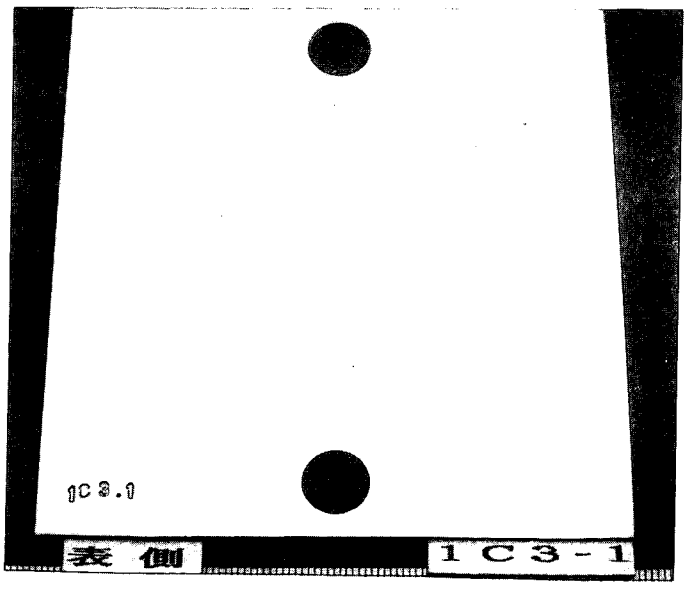
水　中　部 （１Ｃ１－１）	
干　満　部 （１Ｃ２－１）	
大　気　部 （１Ｃ３－１）	

写真3.3.8　江戸川河口堰に１年間暴露されたＳＵＳ３１６Ｌ（母材腐食試験片）の腐食状況

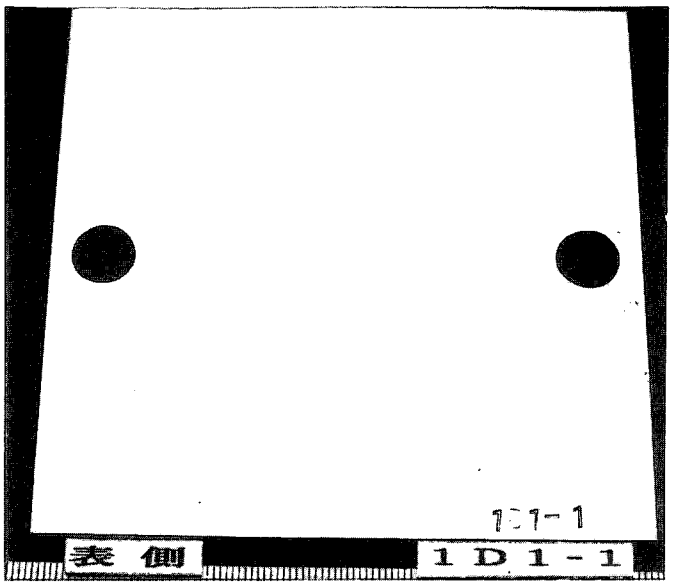
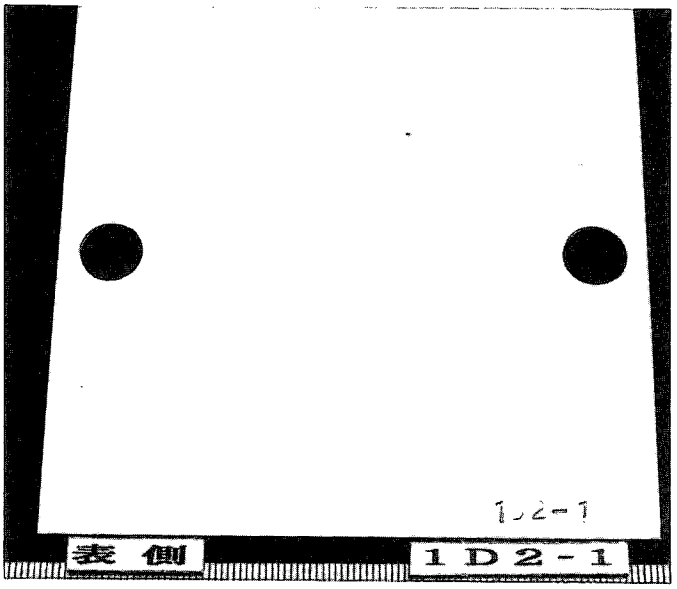
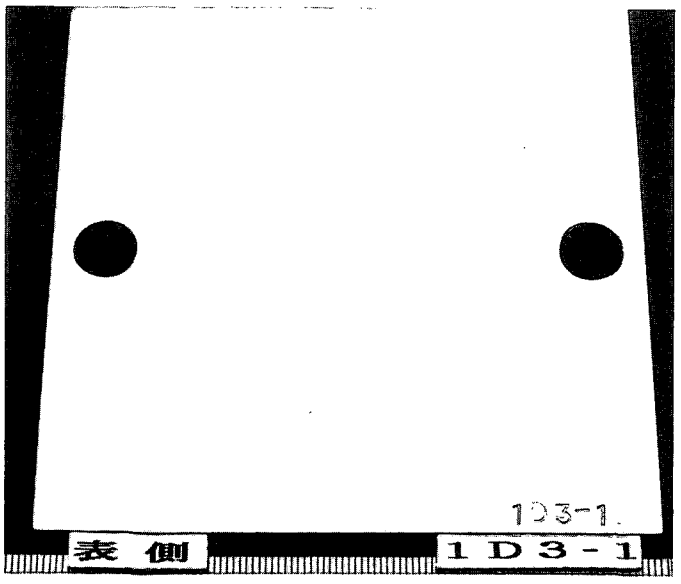
水　中　部 （1D1－1）	
干　満　部 （1D2－1）	
大　気　部 （1D3－1）	

写真3.3.9　江戸川河口堰に１年間暴露されたＳＵＳ３２９Ｊ４Ｌ（母材腐食試験片）の腐食状況

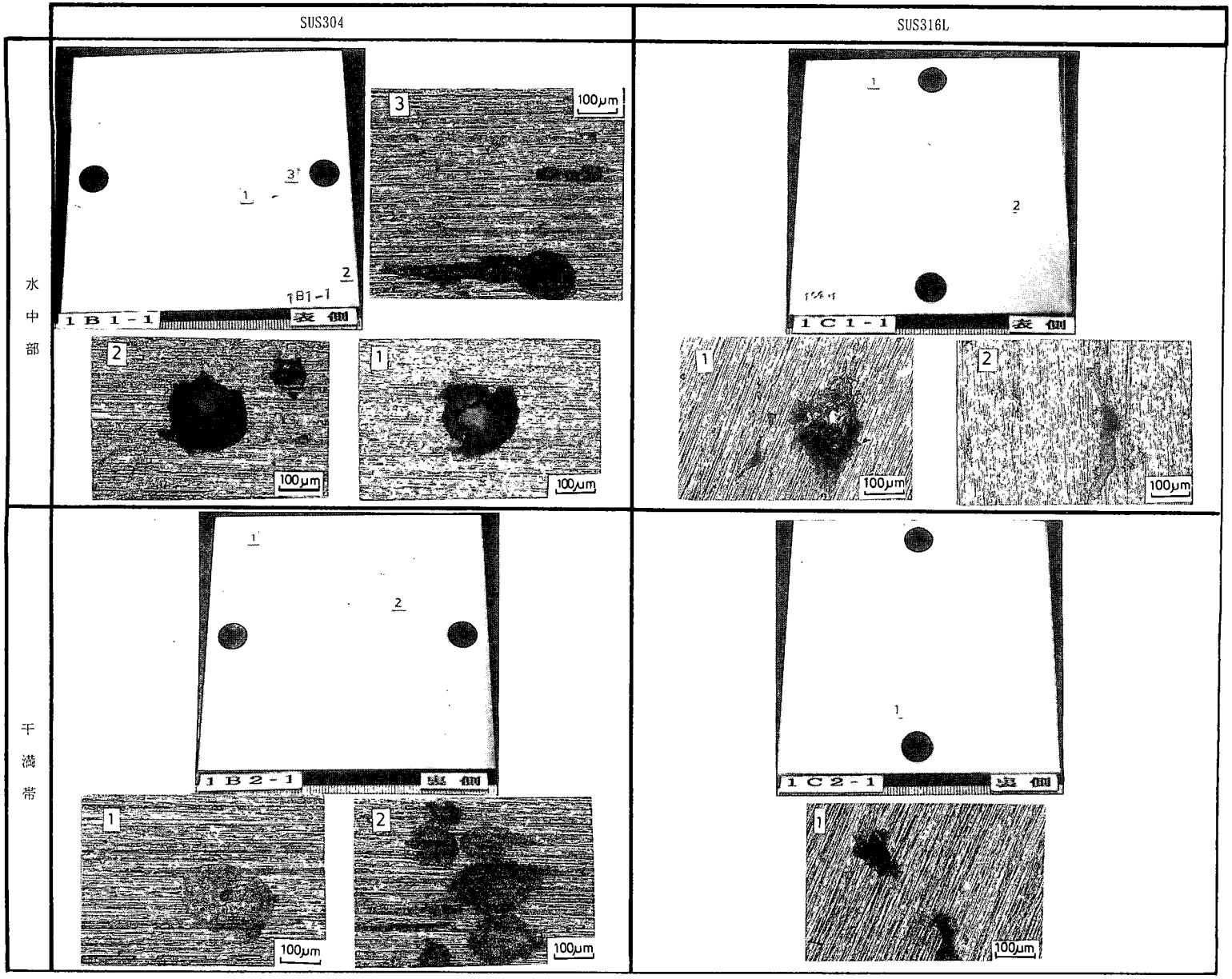


写真3.3.10　SUS304およびSUS316Lの１年間暴露後の孔食例
（江戸川河口堰暴露場，母材腐食試験片）

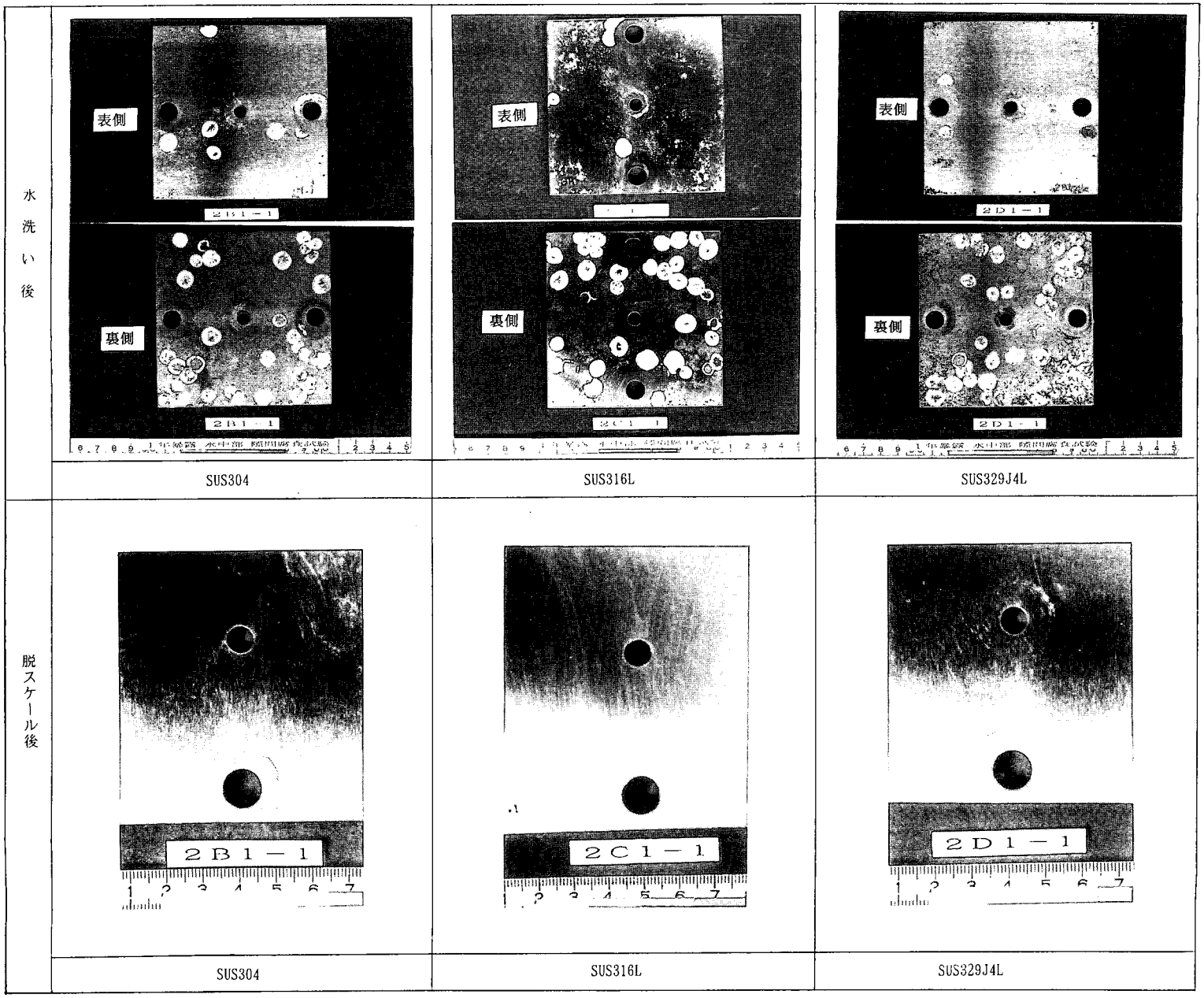


写真3.3.11　水中部に暴露された母材部すき間腐食試験片(SUS304, SUS316Lおよび SUS329J4L)のすき間腐食状況　(江戸川河口堰暴露場，1年間暴露)

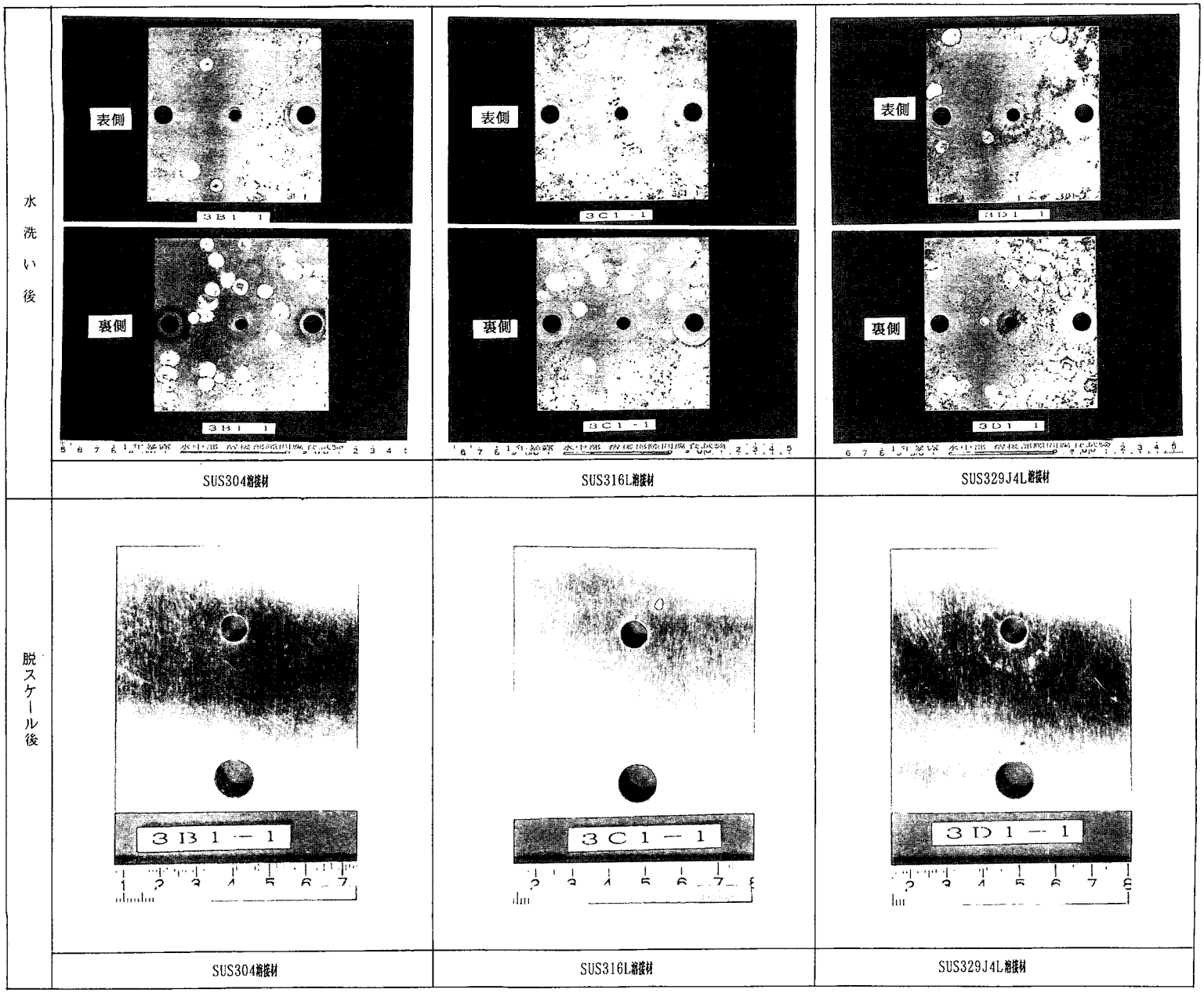


写真3.3.12　水中部に暴露された溶接部すき間腐食試験片(SUS304, SUS316Lおよび SUS329J4L)のすき間腐食状況

(江戸川河口堰暴露場，1年間暴露)

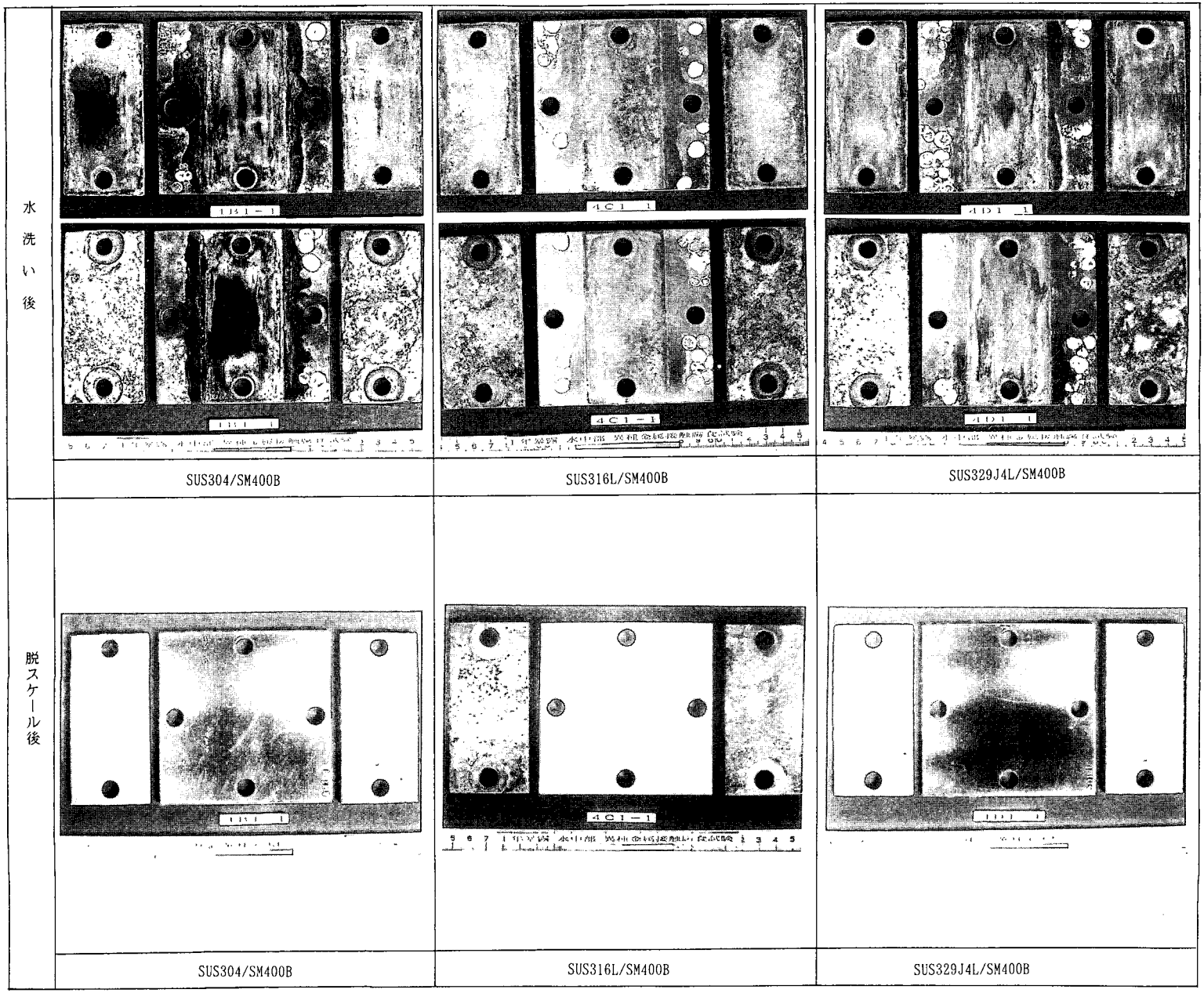


写真3.3.13　水中部に暴露された異種金属接触腐食試験片(SUS304, SUS316Lおよび SUS329J4L)の腐食状況　(江戸川河口堰暴露場，1年間暴露)

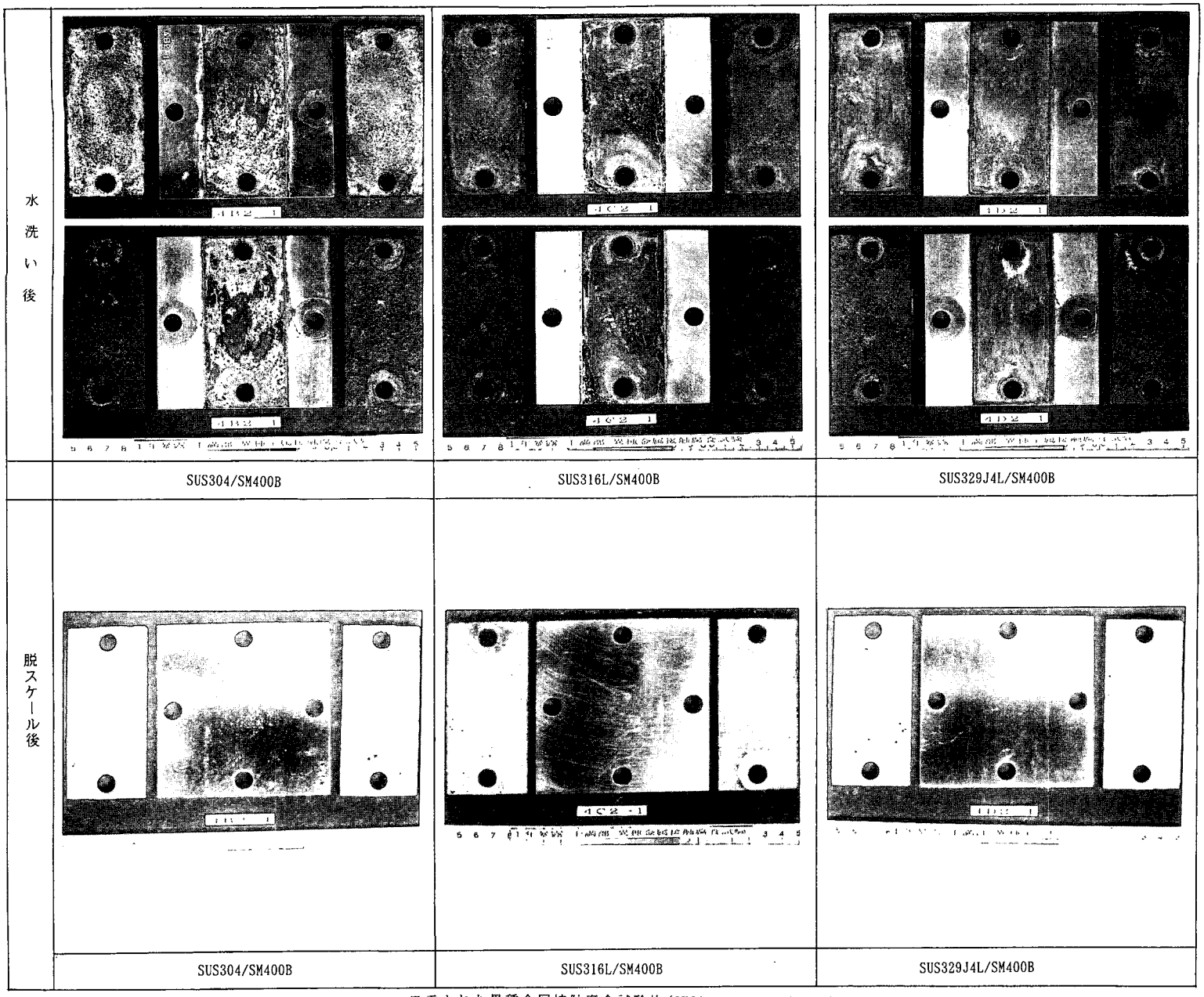


写真3.3.14　干満部に暴露された異種金属接触腐食試験片(SUS304, SUS316Lおよび SUS329J4L)の腐食状況

(江戸川河口堰暴露場，1年間暴露)

(3)腐食速度評価

表3.3.3，3.3.4に母材腐食試験の１年間の暴露試験結果を示す。

1)普通鋼(SM400B)

各暴露環境において、重量減から求めた平均腐食速度は以下の順であった。

干満部(0.215mm/年)＞水中部(0.152mm/年)＞大気部(0.0207mm/年)

これは、従来海水環境下で得られている知見の干満部0.1～0.3mm/年,水中部0.1～0.2mm/年に近い値を示しており、水質分析結果に反し海からの海水の影響がでているものと思われる。

これまで七ヶ宿ダム湖で実施してきたSM400Bの重量減から求めた平均腐食深さと今回の江戸川での腐食深さを図3.3.3に示す。これより、江戸川下流部(汽水域)は、ほぼ七ヶ宿ダム湖と同程度の腐食量であることがわかった。

2)耐海水鋼

各暴露環境において、重量減から求めた平均腐食速度は以下の順であった。

干満部(0.104mm/年)≒水中部(0.111mm/年)＞大気部(0.018mm/年)

普通鋼に比べ、干満部で５０％，水中部７３％，大気部８７％と小さい値となっており、耐海水鋼は河口域でもある程度防食効果があると思われる。

3)ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)

干満部，水中部，大気部において、いずれの鋼種についても腐食が無視できる程度(0.0008mm/年以下)であった。しかしながら、水中部において、SUS304,SUS316L,SUS329J4L共に試験片固定用のＦＲＰワッシャー下においてすき間腐食を生じていた。また、水中部，干満部においてSUS304,SUS316Lには微小な孔食(0.010～0.065mm)が多数発生していた。SUS329J4Lは孔食が発生していなかった。

表3.3.3　母材腐食試験の暴露試験結果（下流部）

（1年間：H6.9.8～H7.7.8）

種類	位置	鋼種	試験片番号	重量減(g)	腐食速度		腐食形態			
					(g/m²·h)	(mm/yr)	無し	全面	孔食	隙間 ※1
母材腐食試験片	水中部	SM400B(B)	1A1-1	26.770	0.136	0.152		○		
		SUS304	1B1-1	0.136	0.00071	0.00080			○	○
		SUS316L(B)	1C1-1	0.005	0.00003	0.00003			○	○
		SUS329J4L	1D1-1	0.010	0.00005	0.00006				○
		耐海水鋼(A)	1E1-1	17.365	0.0918	0.101		○		
		耐海水鋼(B)	1F1-1	21.082	0.107	0.120		○		
	干満部	SM400B(B)	1A2-1	38.009	0.193	0.215		○		
		SUS304	1B2-1	-0.015	0	0			○	
		SUS316L(B)	1C2-1	-0.002	0	0			○	
		SUS329J4L	1D2-1	0.000	0	0	○			
		耐海水鋼(A)	1E2-1	17.527	0.0929	0.102		○		
		耐海水鋼(B)	1F2-1	18.725	0.0952	0.106		○		
	大気部	SM400B(B)	1A3-1	3.644	0.0185	0.0207		○		
		SUS304	1B3-1	0.000	0	0	○			
		SUS316L(B)	1C3-1	0.006	0	0	○			
		SUS329J4L	1D3-1	0.003	0	0	○			
		耐海水鋼(A)	1E3-1	3.079	0.0163	0.0179		○		
		耐海水鋼(B)	1F3-1	3.219	0.0164	0.0183		○		

注：腐食速度の算出では、試験片の取り付け孔も考慮し、表面積を算出した。

代表的な表面積("100*'100*'6:224.4cm², "100*'47*'6:213.2cm²)

※1：FRPワッシャ接触部に生じていた。

表3.3.4　母材腐食試験における孔食深さおよびすき間腐食深さ測定結果

種類	位置	鋼種	試験片番号	孔食深さ(mm)		FRPワッシャ部におけるすき間腐食の有無と深さ(mm)	
				表面	裏面	表面	裏面
母材腐食試験片	水中部	SUS304	1B1-1	1:0.192 2:0.218 3:(0.031, 0.054, 0.008) その他 0.040 0.054 0.016 0.018	1:0.016×3ケ 2:(0.018, 0.017, 0.022)	有り（右） ≦0.038	有り（右） ≦0.260
		SUS316L(B)	1C1-1	1:0.033 2:0.025 その他 0.060 0.010 0.015 0.050	1:(0.031, 0.065, 0.027) 2:0.048 その他 0.031 0.031 0.018	無し	有り（下） ≦0.024
		SUS329J4L	1D1-1	無し	無し	有り（右）	有り（左）
	干満部	SUS304	1B2-1	無し	1:0.033 2:0.009 その他 0.008 ～ 0.009 （溝状）	無し	無し
		SUS316L(B)	1C2-1	無し	1:(0.012, 0.030)*1 その他数点	無し	無し
		SUS329J4L	1D2-1	無し	無し	無し	無し
	大気部	SUS304	1B3-1	無し	無し	無し	無し
		SUS316L(B)	1C3-1	無し	無し	無し	無し
		SUS329J4L	1D3-1	無し	無し	無し	無し

*1　ワッシャ外周に沿って孔食（深さ：0.005～0.007mm, 0.011mm, 0.013mm）が点在していた。

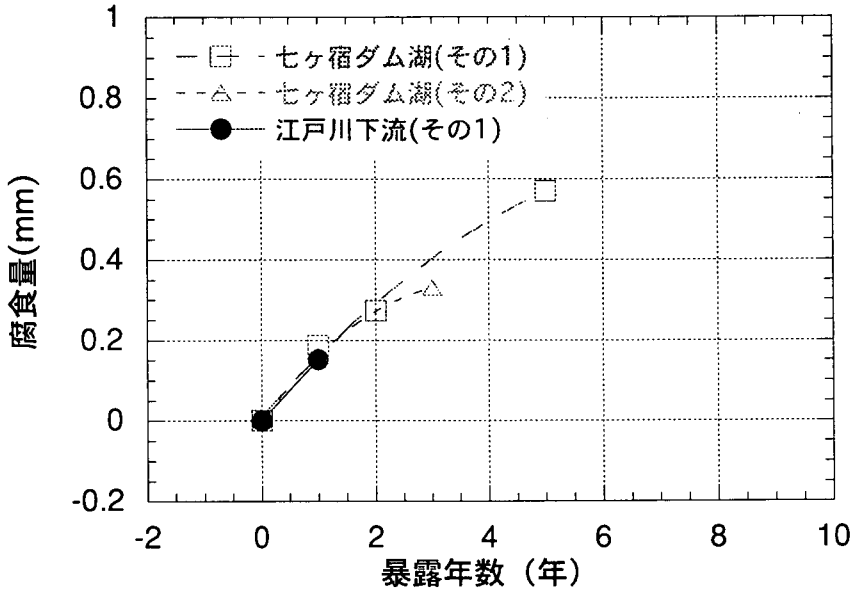


図3.3.3 水中部SM400Bの腐食速度

(4)すき間腐食

ステンレス鋼のすき間腐食特性を表3.3.5と3.3.6に示す。

1)ステンレス鋼（SUS304,SUS316L,SUS329J4L）の母材を対象としたすき間腐食試験では、ポリサルホン樹脂のすき間で腐食は発生していないが、ＦＲＰとのすき間においては全面腐食試験同様に、SUS304とSUS329J4Lに、それぞれ 0.15mmと0.01mm深さのすき間腐食が発生していた。また、SUS316Lには 0.02mm深さの孔食が発生していた。

2)ステンレス鋼（SUS304,SUS316L,SUS329J4L）の溶接部を対象としたすき間腐食試験においては、SUS304ではポリサルホン樹脂のすき間部で腐食は発生していないが、ＦＲＰとのすき間で上記同様0.01mm深さのすき間腐食が発生していた。また、SUS316L,SUS329J4Lでは、ポリサルホン樹脂のすき間部でそれぞれ 0.08mm,0.01mm深さのすき間腐食が発生した。

以上のことから、SUS304,SUS316L,SUS329J4LはFRPとのすき間部においてすき間腐食が生じやすいことがわかった。SUS329J4Lは、一般的にSUS304,SUS316Lよりも耐すき間腐食性が優れているが、0.01mm以下の微小なすき間腐食を生じた。今後、長期間暴露試験において、これらのすき間腐食が成長するか否かを確認することが重要である。

表3.3.7に七ヶ宿ダム湖での暴露試験結果を示す。

表3.3.5　すき間腐食試験の暴露試験結果
（Ｈ６．９．８～Ｈ７．７．８）

種類		位置	鋼種	試験片番号	重量減 (g)	腐食速度		すき間腐食有無		
						(g/m²·h)	(mm/yr)	無し	FRP部	すき間部
すき間腐食試験片	母材部	水中部	SUS304	2B1-1	0.011	0.000057	0.000064		○	
			SUS316L(B)	2C1-1	0.005	0	0	○		
			SUS329J4L	2D1-1	-0.001	0	0		○	○
	溶接部	水中部	SUS304	3B1-1	0	0	0		○	○
			SUS316L(A)	3C1-1	0.010	0.000053	0.000059		○	○
			SUS329J4L	3D1-1	-0.001	0	0		○	○

表3.3.6　すき間腐食試験におけるすき間腐食深さと発生率および孔食深さ

種類		位置	鋼種	試験片番号	すき間腐食深さ(mm)				孔食深さ(mm)	すき間腐食の発生率(%)
					ポリサルホン樹脂		FRPとのすき間			
					表面	裏面	表面	裏面		
すき間腐食試験片	母材部	水中部	SUS304	2B1-1	無	無	0.15	0.01	0.01	0 (*50)
			SUS316L(B)	2C1-1	無	無	無	無	0.02	0 (0)
			SUS329J4L	2D1-1	無	無	0.01	無	無	0 (25)
	溶接部	水中部	SUS304	3B1-1	無	無	0.01	0.01	無	0 (50)
			SUS316L(A)	3C1-1	0.08	0.10	<0.01	<0.01	無	0 (50)
			SUS329J4L	3D1-1	<0.01	<0.01	<0.01	無	無	12.5(25)

＊ ＦＲＰとのすき間腐食［γ/4×100(%)］

表3.3.7　各種鋼材のすき間腐食試験結果

［七ヶ宿ダム湖で１年間(H5.11.2～H6.10.28)暴露］

鋼種	試験片番号	溶接有無	腐食減量(mg)	腐食速度($g/m^2 h$)	すき間腐食有無	孔食深さ(mm)
SUS316L(B)	7A-1	無	27	1.4×10^{-4}	無	0.01
Ti	7B-1	無	14	0.7×10^{-4}	無	0.01
SUS410	8B-1	有	31	1.6×10^{-4}	無	0.11, 0.02
SUS430	8C-1	有	－	－	無	0.07, 0.02
SUS304	8A-1	有	26	1.4×10^{-4}	無	0.02, 0.01
SUS329J4L	8D-1	有	25	1.3×10^{-4}	無	0.01
SM400B *1	9A-1	有	35088.5	0.162	無	0.51*2

*1 ： この鋼種は母材腐食試験片のものである。

*2 ： 最大侵食深さを示した。

(5)自然電位測定

母材腐食試験およびすき間腐食試験の自然電位測定結果を表3.3.8～3.3.18に示す。

これらの全データをまとめたものを図3.3.4～3.3.7に示す。

1)水中部での自然電位測定

①母材腐食試験の自然電位

SM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は水洗いの有無に関係なく図3.3.4に示すように、約-620mVである。

SUS304の自然電位は、取出し直後-75mVであるが水洗いして付着物を除去すると電位は-125mVまで下がった。

SUS316LおよびSUS329J4Lの自然電位はそのままの状態で、それぞれ24mV,135mVであったが、水洗いすると6mVと96mVになった。

②母材部すき間腐食試験の自然電位

SM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は、図3.3.6に示すように、母材腐食試験とまったく同じ電位を示し、すき間の影響は認められなかった。.

SUS304,SUS316L,SUS329J4L,YUS270およびAC-4の自然電位は、組成中のクロム量に比例して電位が上昇している。特に、YUS270,AC-4およびSUS329J4Lは電位が約400mVまで上昇している。

一方、溶接部すき間腐食試験のSUS316L,YUS270,AC-4およびSUS329J4Lの自然電位を図3.3.7に示す。

SUS316L,YUS270,AC-4およびSUS329J4Lの自然電位は、約400mVまで上昇しているがSUS304は-123mVであった。この電位低下は不働態皮膜が破壊されて一時的に電位が下がったか、あるいはすき間腐食が発生した可能性を示唆しているものと思われる。

2)干満帯での自然電位

①母材腐食試験の自然電位

SM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は、図3.3.5に示すように、約-230mVで水中部よりも自然電位が高い。この理由は、腐食生成物の組成が異なることや厚さが非常に大であることが影響していると考えられる。

SUS304およびSUS316Lは水中部とほぼ同等の電位であったが、SUS329J4Lは水中部と較べて約200mV低い。通常自然電位が低い程、ステンレス鋼の局部腐食の発生の可能性が低いと言われている。今回の暴露試験結果でもSUS304,SUS316LおよびSUS329J4LはＦＲＰとのすき間部ですき間腐食の発生が認められなかった。

3)異種金属接触腐食による自然電位

異種金属接触腐食試験では、図3.3.4，3.3.5に示すように各種ステンレス鋼の異種金属接触電位がSM400Bの電位とほぼ同じレベルまでに下がり、水中部で約-600mV,干満部で約-200mVとなって、これがすき間腐食発生電位よりも低くなったためにすき間腐食が発生しなかったと思われる。SUS304,SM400Bとの接触部での腐食は、SM400Bが腐食して赤サビ(FeOOH)となり、これがSUS304の表面に付着していわゆる「もらい錆」の状態となりSUS304が0.01 mmの深さの孔食を生じたものと思われる。これについても今後この微細孔食が成長するか否かを見分ける必要がある。

表3.3.8　現地電位測定結果（母材腐食試験片・水中部）

［下流，１年間］

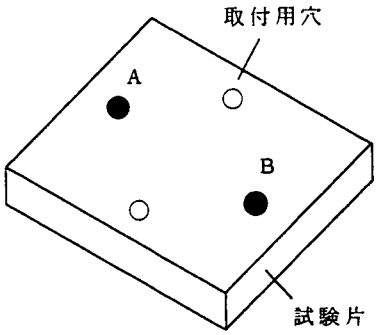
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	母材腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SM400B(B)	1A1-1	A	-646	-624
						B	-648	-617
			○	SUS304	1B1-1	A	- 75.2	-125.9
						B	- 74.7	-125.4
			○	SUS316L(B)	1C1-1	A	24.6	6.1
						B	24.8	6.4
			○	SUS329J4L	1D1-1	A	135.1	96.2
						B	135.5	96.2
			○	耐海水鋼(A)	1E1-1	A	-644	-618
						B	-643	-615
			○	耐海水鋼(B)	1F1-1	A	-652	-628
						B	-651	-626

表3.3.9　現地電位測定結果（母材腐食試験片・干満部）

［下流，1年間］

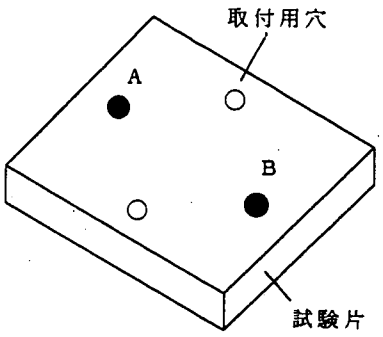
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	母材腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SM400B(B)	1A2-1	A	-250	-226
						B	-220	-241
			○	SUS304	1B2-1	A	- 5.0	-150.9
						B	- 11.5	-150.6
			○	SUS316L(B)	1C2-1	A	7.1	-177.6
						B	81.1	-177.0
			○	SUS329J4L	1D2-1	A	- 47.8	- 91.5
						B	- 53.7	- 90.5
			○	耐海水鋼(A)	1E2-1	A	-256	-215
						B	-268	-214
			○	耐海水鋼(B)	1F2-1	A	-280	-222
						B	-270	-219

表3.3.10　現地電位測定結果（母材すき間腐食試験片・水中部）

［下流，１年間］

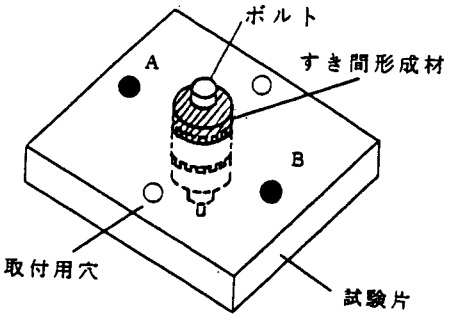
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
2 Type	母材部すき間腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	2B1-1	A	25.1	- 9.0
						B	26.1	- 5.0
			○	SUS316L(B)	2C1-1	A	- 85.6	- 99.8
						B	- 84.9	- 98.9
			○	SUS329J4L	2D1-1	A	434	414
						B	436	416

表3.3.11　現地電位測定結果（溶接部すき間腐食試験片・水中部）

［下流，１年間］

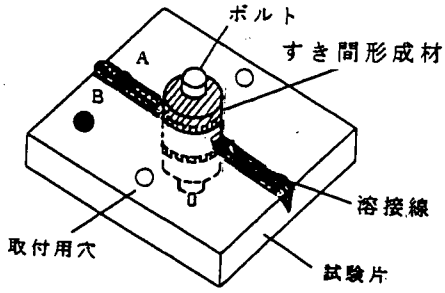
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
3 Type	溶接部すき間腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	3B1-1	A	-123.0	-256 (-253) (-253)
						B	-122.8	-254 (-253) (-253)
			○	SUS316L(A)	3C1-1	A	430	396, 396
						B	429	396, 396
			○	SUS329J4L	3D1-1	A	445	426, 426
						B	446	427, 425

表3.3.12　現地電位測定結果（母材すき間腐食試験片，水中部，その２）

［下流，１年間］

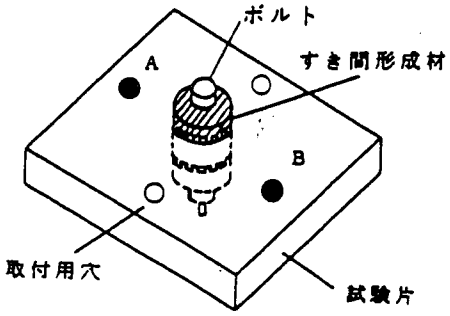
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	母材部すき間腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	YUS270	K2H1-1	A	430	340
						B	435	347
			○	AC-4	K2G1-1	A	440	393
						B	442	396

表3.3.13　現地電位測定結果（母材腐食試験片，干満部，その２）

［下流，１年間］

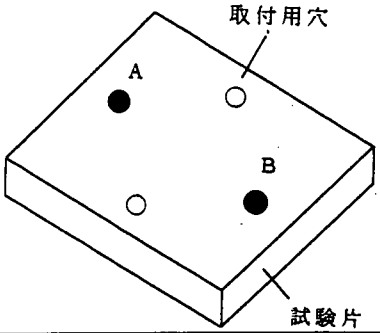
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	母材腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	YUS270	K1H2-1	A	205	-157
						B	204	-152
			○	AC-4	K1G2-1	A	303	-156
						B	302	-155

表3.3.14　現地電位測定結果（溶接部すき間腐食試験片，水中部，その２）

［下流，１年間］

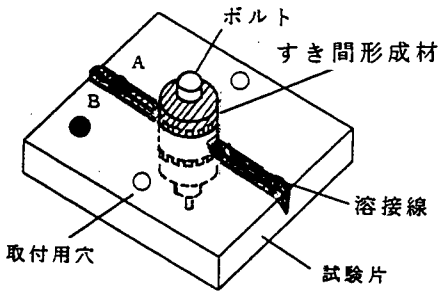
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
3 Type	溶接部すき間腐食試験片	水中部	1 年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	YUS270	K3H1-1	A	417	361
						B	417	363
			○	AC-4	K3G1-1	A	444	402
						B	445	404

表3.3.15　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，水中部）

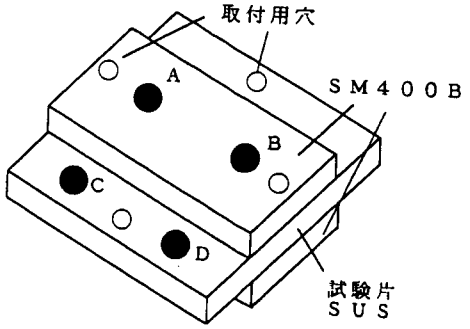
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状		腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	水中部	1年				
				鋼種	試験片番号	そのまま	水洗い
			○	SUS304 マーク 4B1-1	SM400 マーク 4B1-1 マーク 4B1-1 A	-656	-631
					B	-658	-626
					C	-647	-513 (-601)
					D	-646	-486 (-602)
			○	SUS316L(B) マーク 4C1-1	SM400 マーク 4C1-1A マーク 4C1-1B A	-662	-635
					B	-663	-635
					C	-653	-630
					D	-653	-629
			○	SUS329J4L マーク 4D1-1	SM400 マーク 4D1-1A マーク 4D1-1B A	-668	-639
					B	-668	-638
					C	-656	-530 (-632)
					D	-658	-636 (-633)

表3.3.16　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，干満部）

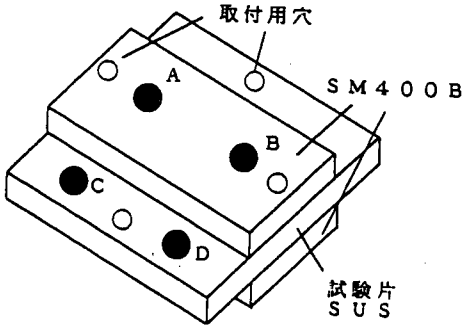
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304 マーク 4B2-1	SM400 マーク 4B2-1 マーク 4B2-1	A	-220	-195
						B	-230	-185
						C	-189	-194
						D	-189	-195
			○	SUS316L(B) マーク 4C2-1	SM400 マーク 4C2-1A マーク 4C2-1B	A	-218	-190
						B	-230	-197
						C	-191	-195
						D	-191	-195
			○	SUS329J4L マーク 4D2-1	SM400 マーク 4D2-1A マーク 4D2-1B	A	-215	-253
						B	-203	-241
						C	-207	-208
						D	-207	-209

表3.3.17　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，水中部，その２）

［下流，１年間］

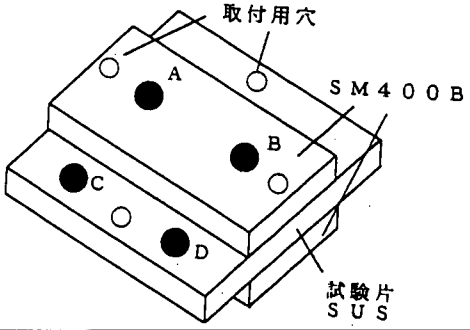
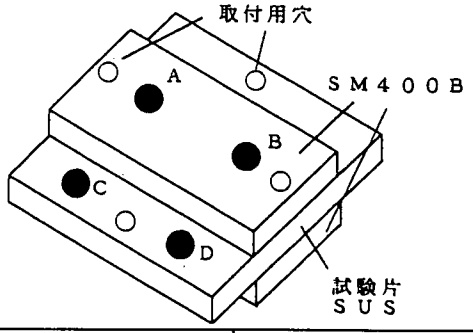
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304(A) マークK4B1-1	SM400 マークK4B1-1A K4B1-1B	A	-617	-636
						B	-622	-635
						C	-578	-601
						D	-618	-629
			○	SUS304(A) マークK5B1-1	SM400 マークK5B1-1A K5B1-1B	A	-587	-596
						B	-602	-612
						C	-550	-561
						D	-573	-587
			○	SUS304(A) マークK6B1-1	SM400 マークK6B1-1A K6B1-1B	A	-587	-600
						B	-600	-607
						C	-542	-556
						D	-581	-572

表3.3.18　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，その２）

［下流，１年間］

試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304(A) マ-クK4B2-1	SM400 マ-クK4B2-1A K4B2-1B	A	-246	-172
						B	-230	-165
						C	-87.3	-156
						D	-89.2	-153
			○	SUS304(A) マ-クK5B2-1	SM400 マ-クK5B2-1A K5B2-1B	A	-274	-186
						B	-248	-193
						C	-202	-187
						D	-200	-182
			○	SUS304(A) マ-クK6B2-1	SM400 マ-クK6B2-1A K6B2-1B	A	-250	-230
						B	-230	-207
						C	-171	-201
						D	-173	-200

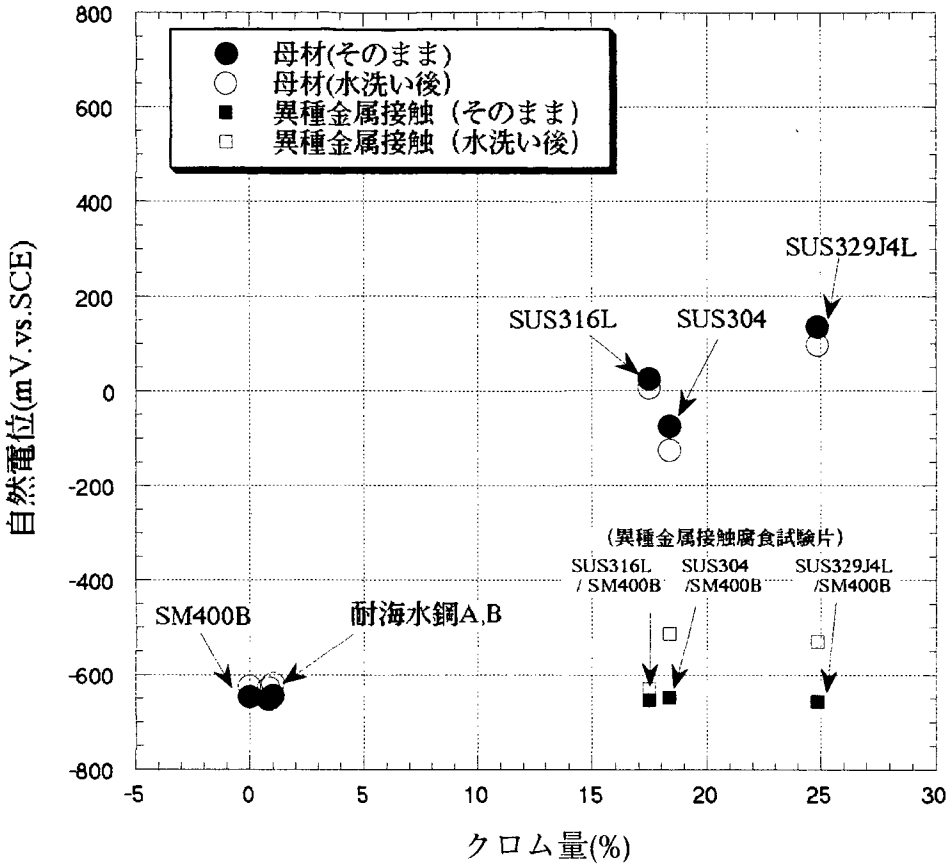


図3.3.4　母材腐食試験における自然電位（水中部）

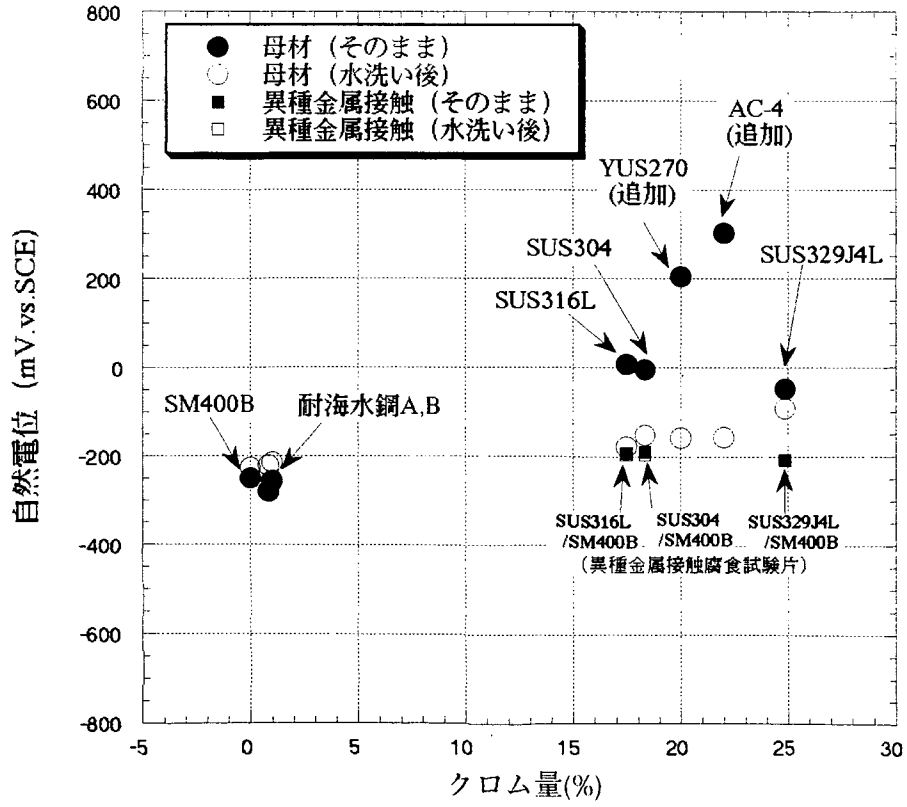


図3.3.5　母材腐食試験における自然電位（干満部）

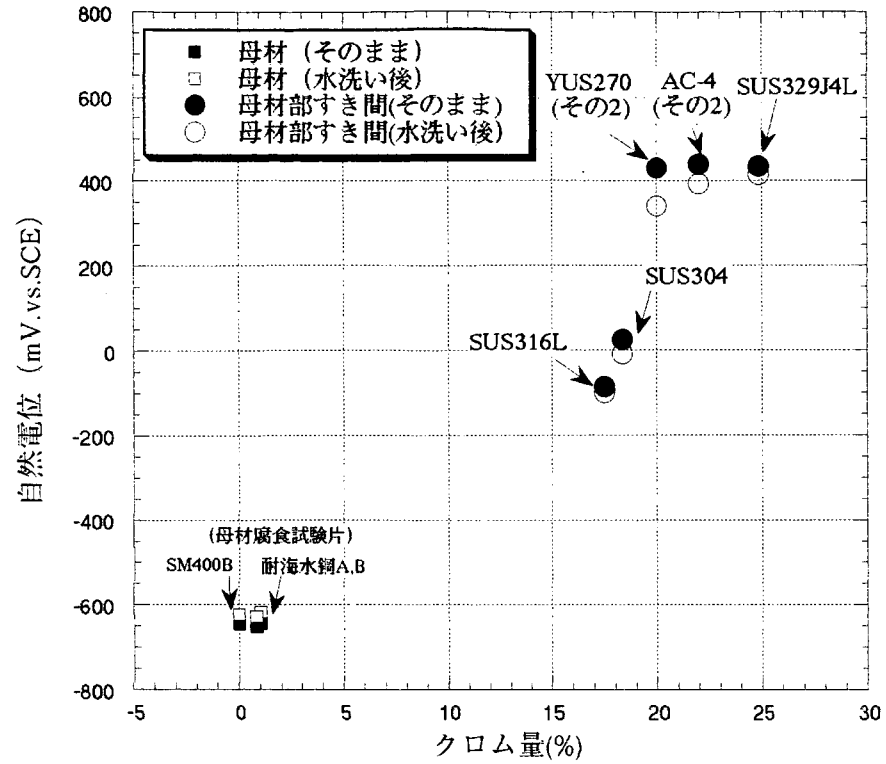


図3.3.6　母材部すき間腐食試験における自然電位（水中部）

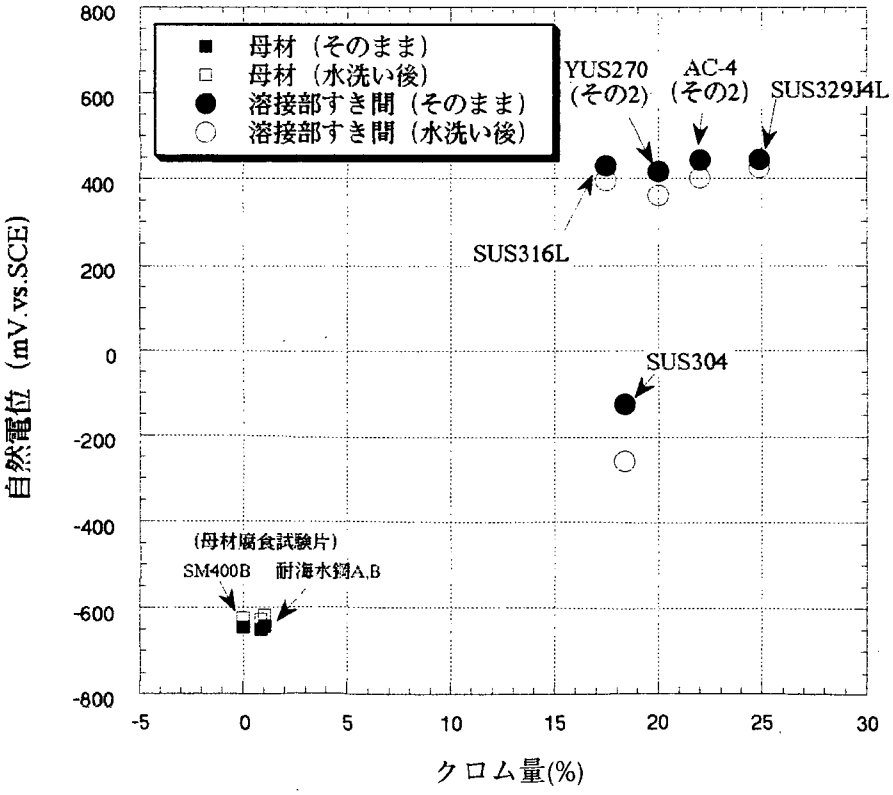


図3.3.7　溶接部すき間腐食試験片の自然電位（水中部）

(6)異種金属接触腐食

表3.3.19に異種金属腐食試験の暴露試験結果を示す。表3.3.20に異種金属接触腐食試験におけるすき間腐食深さと孔食深さを示す。

1)異種金属接触腐食によるSM400BとSUS304の腐食速度

①水中部での腐食速度評価

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lは腐食速度が5.8×10^{-4}mm/年以下であった。

SM400Bの腐食速度は0.12～0.14mm/年であった。SM400Bはステンレス鋼と接触している面はあまり腐食されていない。しかし、この反対面がより腐食されているが、全体の表面積で評価しているために水中の単独試験片よりも小さくなったものと考えられる。

②干満部での腐食速度評価について

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lは腐食速度が5.8×10^{-4}mm/年以下であった。

SM400Bの腐食速度は0.12～0.14mm/年であった。この値は水中部の腐食速度と同じであった。

2)異種金属接触腐食による局部腐食性

SUS304,SUS316L,SUS329J4Lは、いずれもＦＲＰすき間部でのすき間腐食は生じていなかった。しかしながら、SUS304については、SM400Bとの接触部で0.01mm深さの点状の腐食が生じていた。SUS316L,SUS329J4Lについては、SM400Bとの接触部で腐食が生じていなかった。

表3.3.19　異種金属腐食試験の暴露試験結果

（H６．９．８～H７．７．８）

種類	位置	鋼種		試験片番号	重量減(g)	腐食速度		腐食形態			
						(g/m²·h)	(mm/年)	無し	全面	孔食	すき間
異種金属接触腐食試験片	水中部	SUS304		4B1- 1	0.001	5.2×10^{-6}	5.8×10^{-6}			○*1	
			SM400B	4B1-11	12.247	0.129	0.144		○		
				4B1-12	12.144	0.128	0.143		○		
		SUS316L		4C1- 1	-0.084	0	0	○			
			SM400B	4C1-11	10.327	0.106	0.118		○		
				4C1-12	12.144	0.119	0.132		○		
		SUS329J4L		4D1- 1	0.002	0	0	○			
			SM400B	4D1-11	10.327	0.109	0.121		○		
				4D1-12	9.639	0.102	0.114		○		
	干満部	SUS304		4B2- 1	-0.001	0	0	○		○	
			SM400B	4B2-11	11.284	0.119	0.133		○		
				4B2-12	11.966	0.128	0.143		○		
		SUS316L		4C2- 1	-0.068	0	0	○			
			SM400B	4C2-11	11.085	0.113	0.126		○		
				4C2-12	11.350	0.116	0.127		○		
		SUS329J4L		4D2- 1	-0.003	0	0	○			
			SM400B	4D2-11	10.540	0.111	0.124		○		
				4D2-12	10.801	0.114	0.127		○		

*1：SM400Bとの接触面とその近傍に腐食発生

注：腐食速度の算出では、取り付け孔の面積増減も考慮した。

表3.3.20　異種金属接触腐食試験におけるすき間腐食深さと孔食深さ

種類	位置	鋼種	試験片番号	SM400Bとの接触部の腐食深さ(mm)		一般部孔食深さ(mm)
				表面	裏面	
異種金属接触腐食試験片	水中部	SUS304	4B1-1	0.01	0.01	無
		SUS316L	4C1-1	無	無	無
		SUS329J4L	4D1-1	無	無	無
	干満部	SUS304	4B2-1	0.01	0.01	無
		SUS316L	4C2-1	無	無	無
		SUS329J4L	4D2-1	無	無	無

3．4淡水域における試験(上流域)

3．4．1目的

河口堰等の鋼構造物を対象とした防食設計指針の確立にむけて、基礎的データを得るために、ステンレス材料を中心とした耐食材料の暴露試験を江戸川河口堰の上流（淡水域）で暴露試験を開始した。

3．4．2試験条件

(1)供試材

暴露に供した材料（SM400B,SUS304,SUS316L,SUS329J4L,YUS270,AC-4,耐海水鋼A,耐海水鋼B）の化学成分を表3.4.1に、暴露試験体の一覧表を表3.4.2に示す。

表3.4.1　供試材の化学成分　(wt/%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他の元素
SM400B	0.12	0.23	0.62	0.014	0.002	—	—	
SUS304	0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	
SUS316L	0.019	0.62	0.90	0.03	0.001	12.10	17.47	2.1Mo
SUS329J4L	0.019	0.56	0.91	0.023	0.001	7.26	24.86	2.98Mo-0.42Cu-0.29W-0.15N
YUS270	0.014	0.51	0.55	0.021	0.001	18.11	20.14	6.18Mo-0.66Cu-0.202N
AC-4	0.014	0.51	0.79	0.022	0.0003	20.98	23.06	0.09Cu-6.10Mo-0.25N
耐海水鋼A	0.07	0.39	0.98	0.008	0.001	0.12	1.05	0.26Cu-0.23Mo
耐海水鋼B	0.103	0.79	0.79	0.018	0.0029	0.22	0.83	0.19Cu-0.17Mo

(2)試験片形状

暴露に供した(a)母材腐食試験片，(b)すき間腐食試験片，(c)異種金属接触腐食試験片の詳細仕様は前章の図3.3.1と同じである。

(b)すき間腐食試験片は、母材部にすき間形成材を取り付けた試験片と、溶接部にすき間形成材を取り付けた試験片の2種類とした。また、(c)異種金属接触腐食試験片は、SM400Bと各ステンレス鋼（SUS304,SUS316L,SUS329J4L）との表面積が等しくなるように試験片寸法を決定し、図3.3.2に示すようにステンレス鋼をSM400Bで挟みボルトで締め付けた。

表3.4.2　暴露試験体の一覧表

試験片種類			江戸川上流								江戸川下流追加								合計枚数
試験項目		鋼種	干満部				水中部				干満部				水中部				
大分類	中分類		1年間	3年間	5年間	10年間	1年間	3年間	5年間	10年間	1年間	3年間	5年間	10年間	1年間	3年間	5年間	10年間	
母材腐食		SM400B	1	1	1	1	1	1	1	1									8
		SUS304	1	1	1	1	1	1	1	1									8
		SUS316L	1	1	1	1	1	1	1	1									8
		SUS329J4L	1	1	1	1	1	1	1	1									8
		YUS270									1	1							2
		AC-4									1	1							2
		耐海水鋼A	1	1	1	1	1	1	1	1									8
		耐海水鋼B	1	1	1	1	1	1	1	1									8
すき間腐食	母材部	SUS304					1	1	1	1									4
		SUS316L					1	1	1	1									4
		SUS329J4L					1	1	1	1									4
		YUS270													1	1			2
		AC-4													1	1			2
	溶接部	SUS304					1	1	1	1									4
		SUS316L					1	1	1	1									4
		SUS329J4L					1	1	1	1									4
		YUS270					1	1	1	1					1	1			6
		AC-4					1	1	1	1					1	1			6
異種金属接触腐食	すき間0mm	SUS304	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1				10
		SM400B	2	2	2	2	2	2	2	2	2				2				20
	すき間1mm	SUS304	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1			12
		SM400B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			2	2			24
	すき間3mm	SUS304	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1			12
		SM400B	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			2	2			24
			15	15	15	15	23	23	23	23	11	8	0	0	13	10	0	0	194

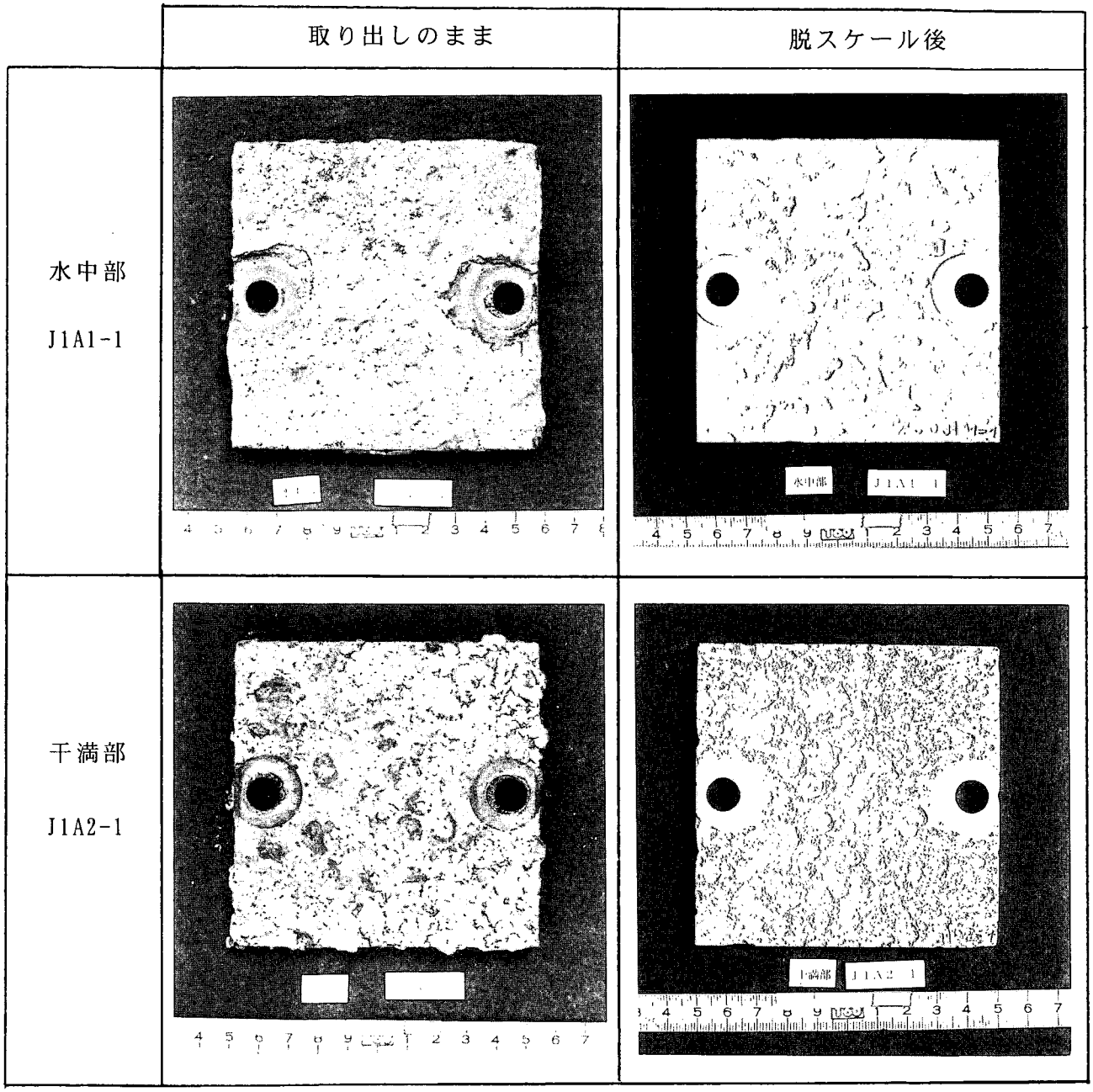


写真 3.4.1　江戸川河口堰に１年間暴露されたSM400B(全面腐食試験片)の腐食状況

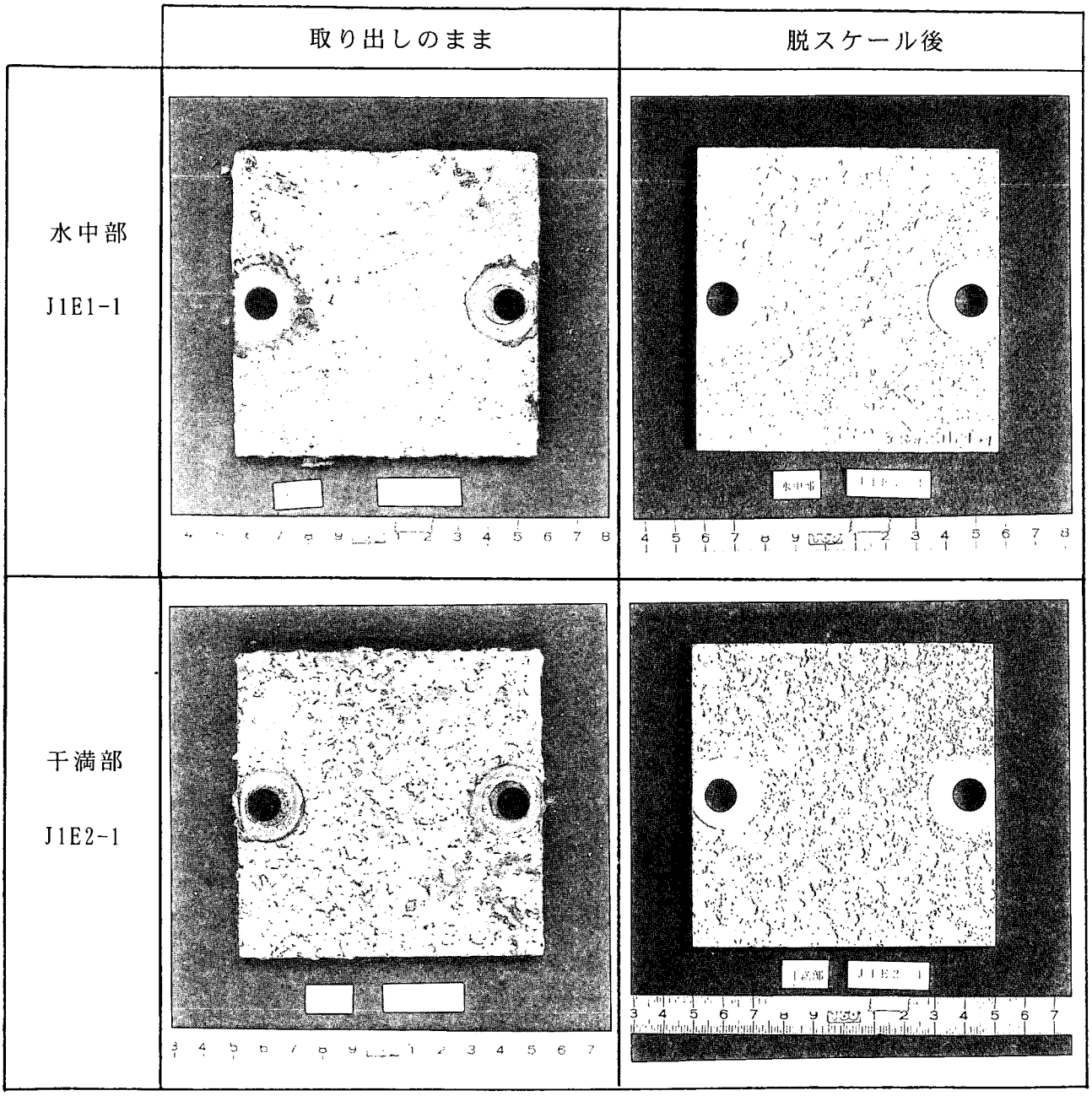


写真 3.4.2　江戸川河口堰に１年間暴露された耐海水鋼A(全面腐食試験片)の腐食状況

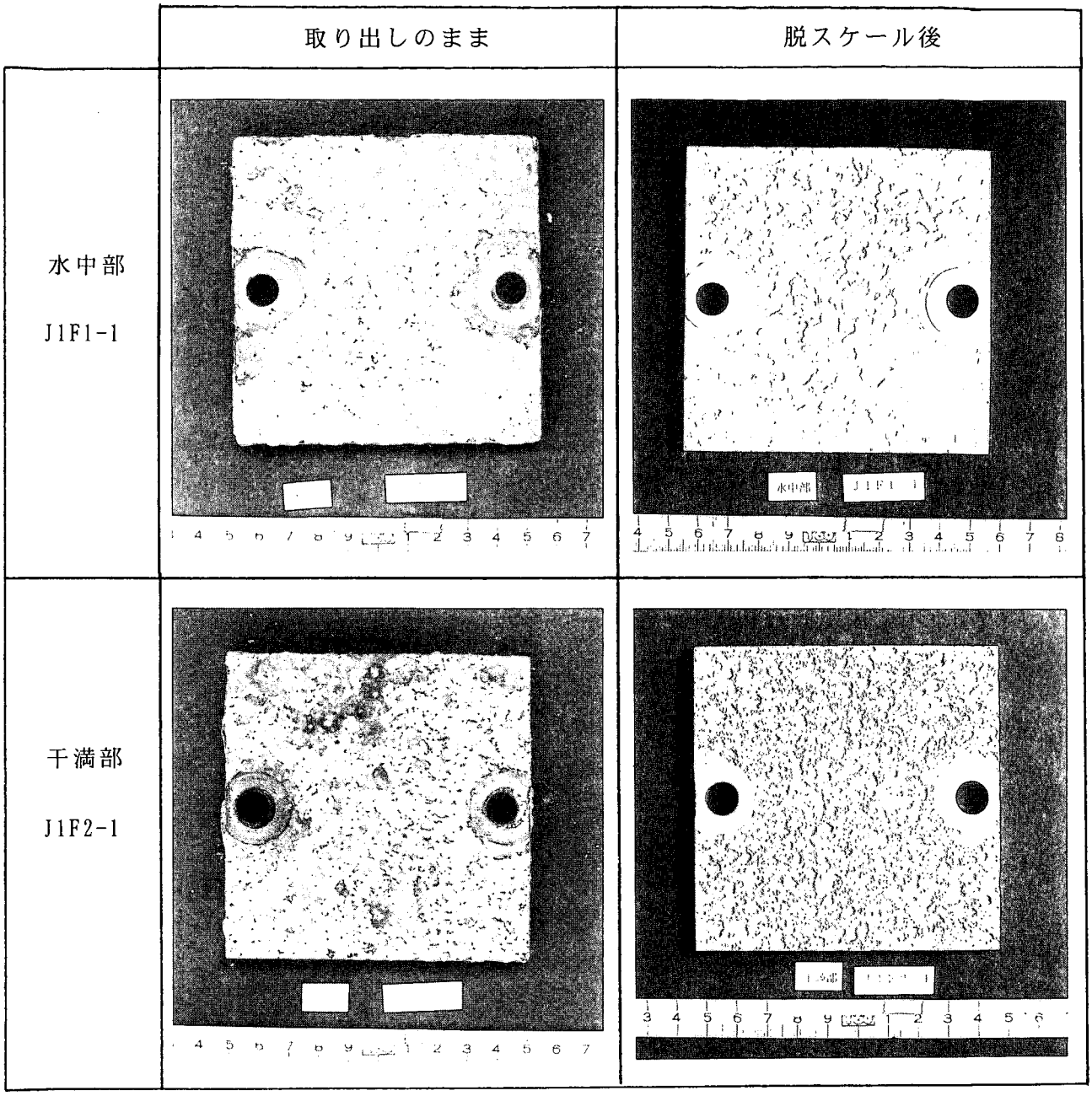


写真 3.4.3　江戸川河口堰に１年間暴露された耐海水鋼B(全面腐食試験片)の腐食状況

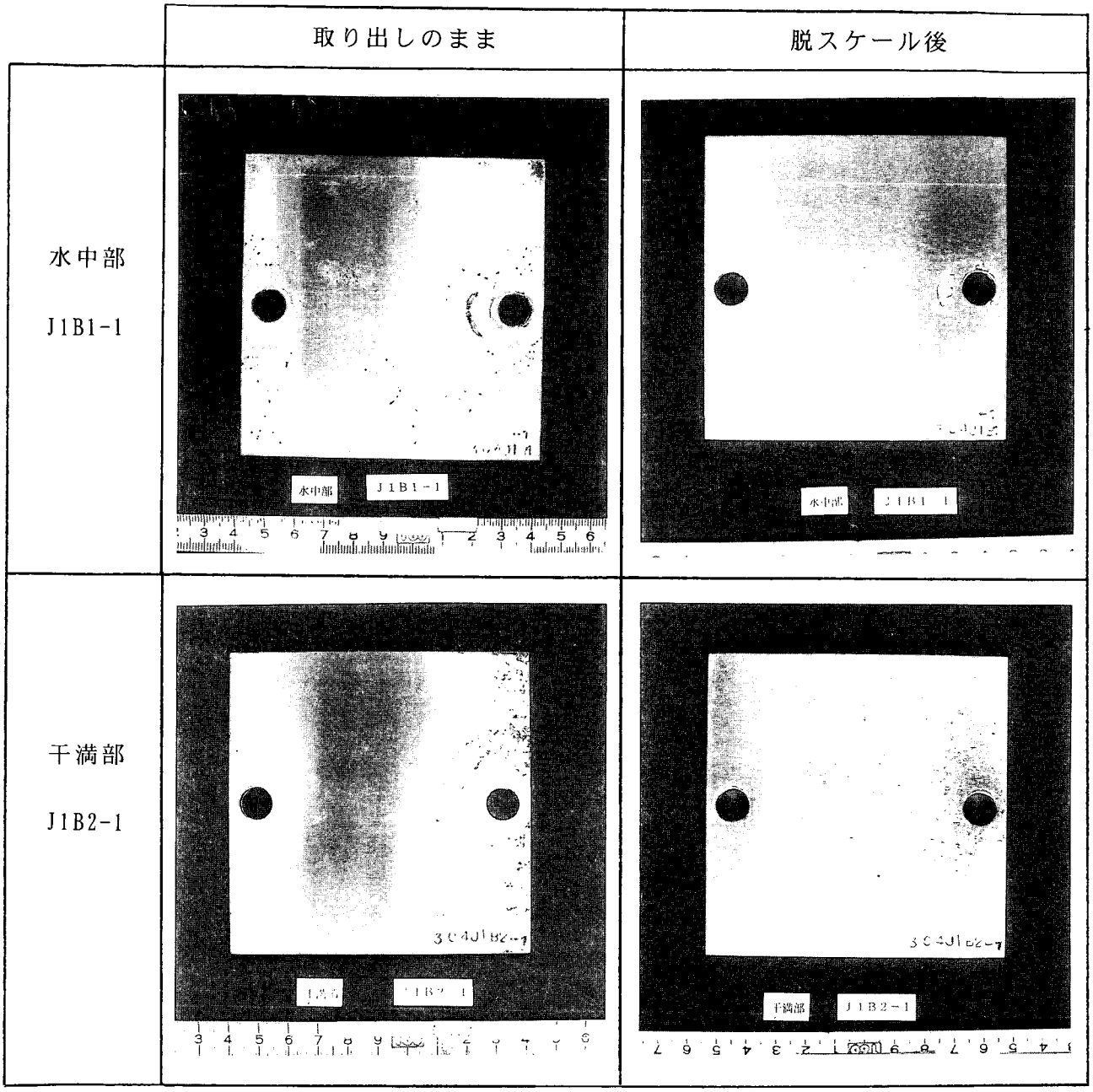


写真 3.4.4　江戸川河口堰に1年間暴露されたSUS304(全面腐食試験片)の腐食状況

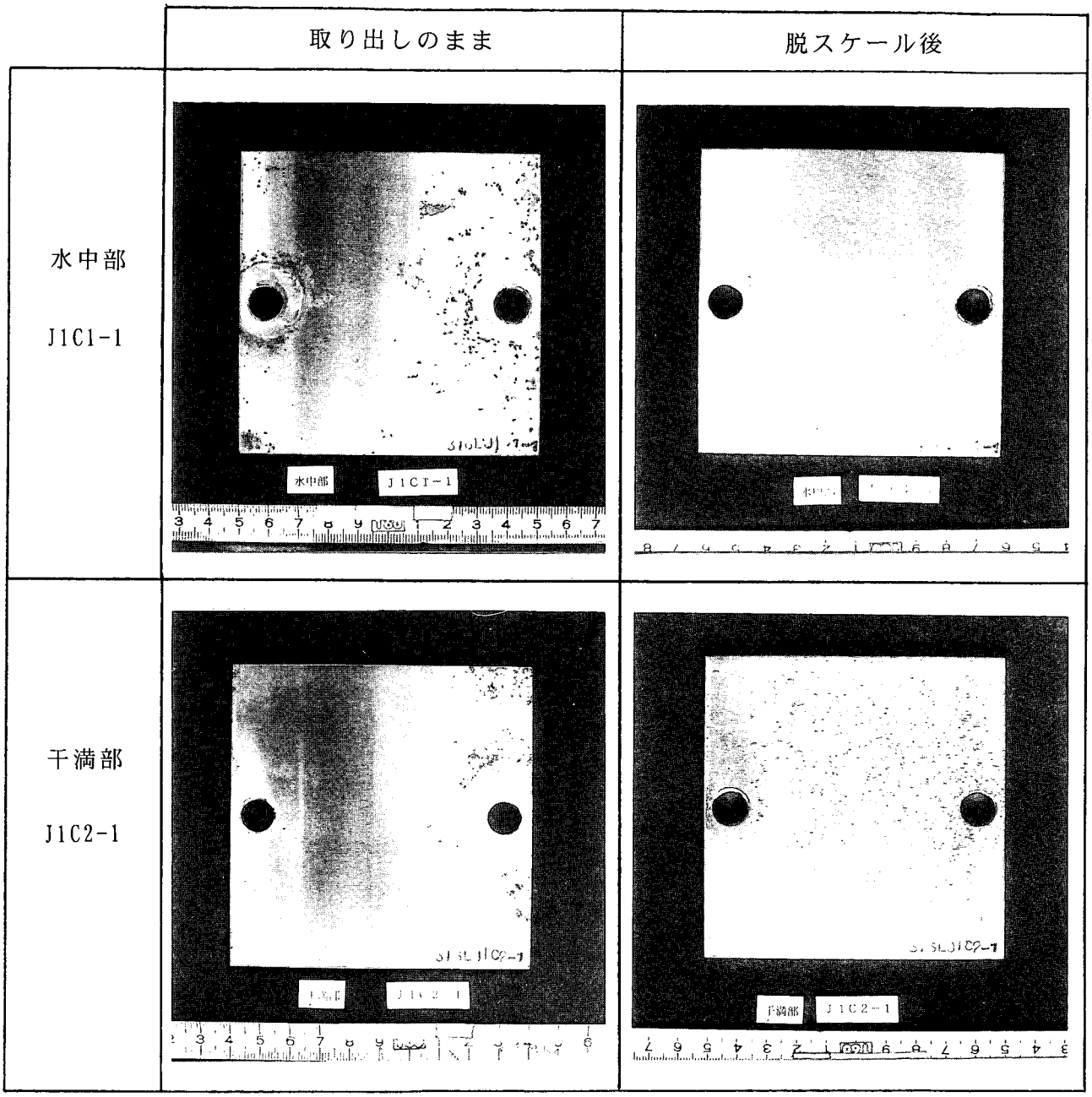


写真 3.4.5　江戸川河口堰に１年間暴露されたSUS316L(全面腐食試験片)の腐食状況

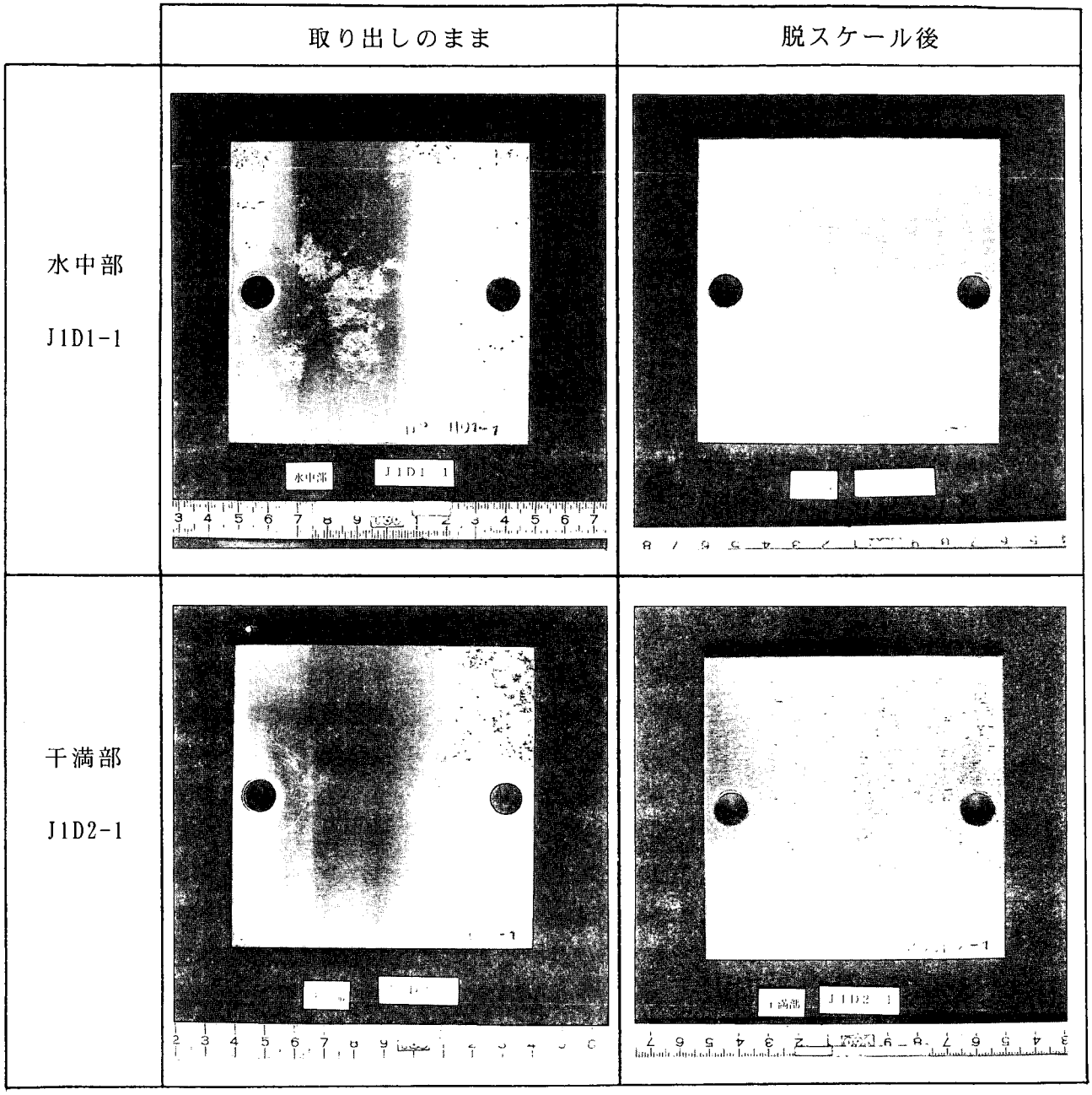


写真 3.4.6　江戸川河口堰に１年間暴露されたSUS329J4L(全面腐食試験片)の腐食状況

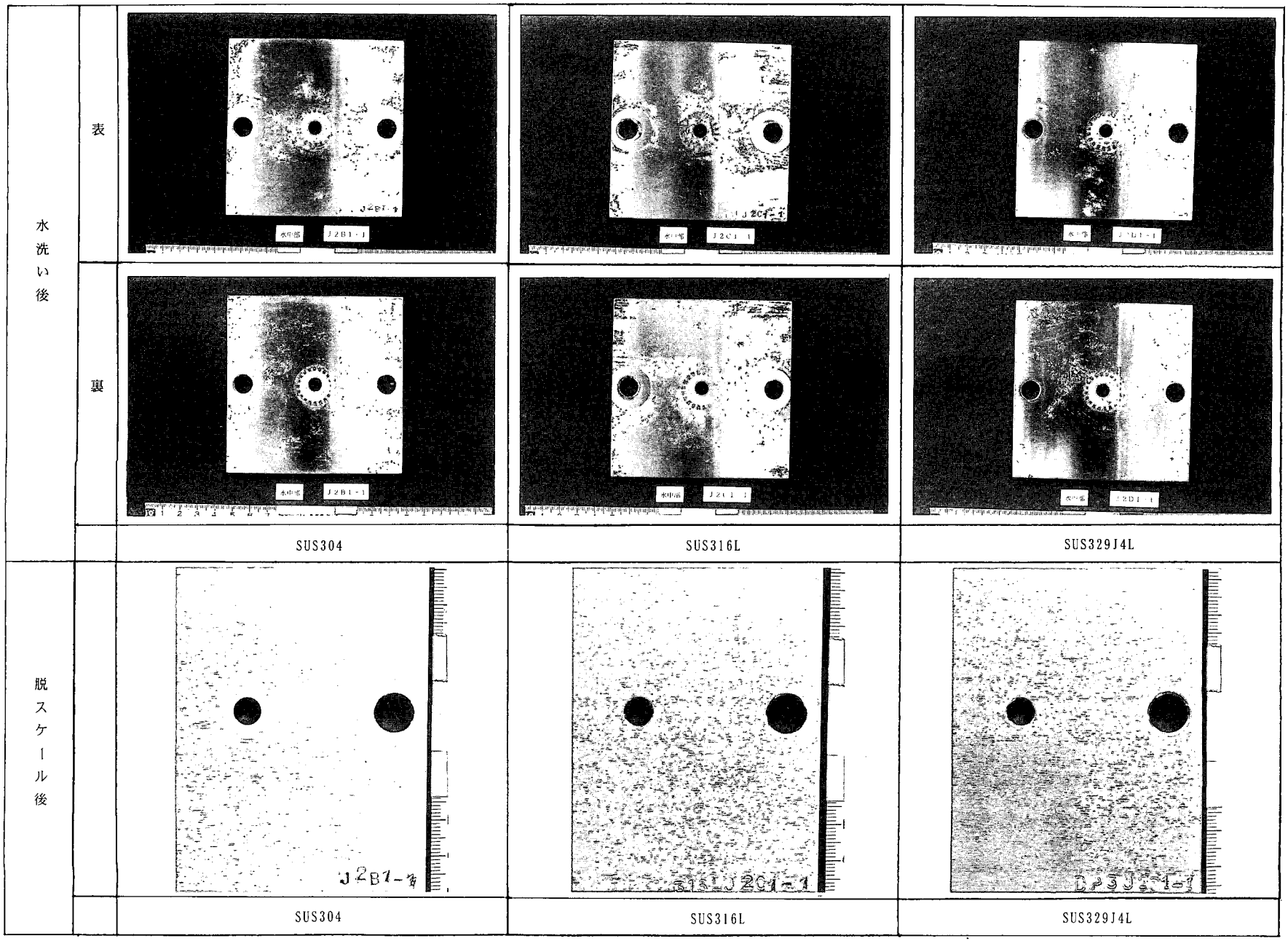


写真 3.4.7　水中部に暴露された母材部すき間腐食試験片(SUS304, SUS316LおよびSUS329J4L)
のすき間腐食状況　(江戸川河口堰暴露場　1年間暴露)

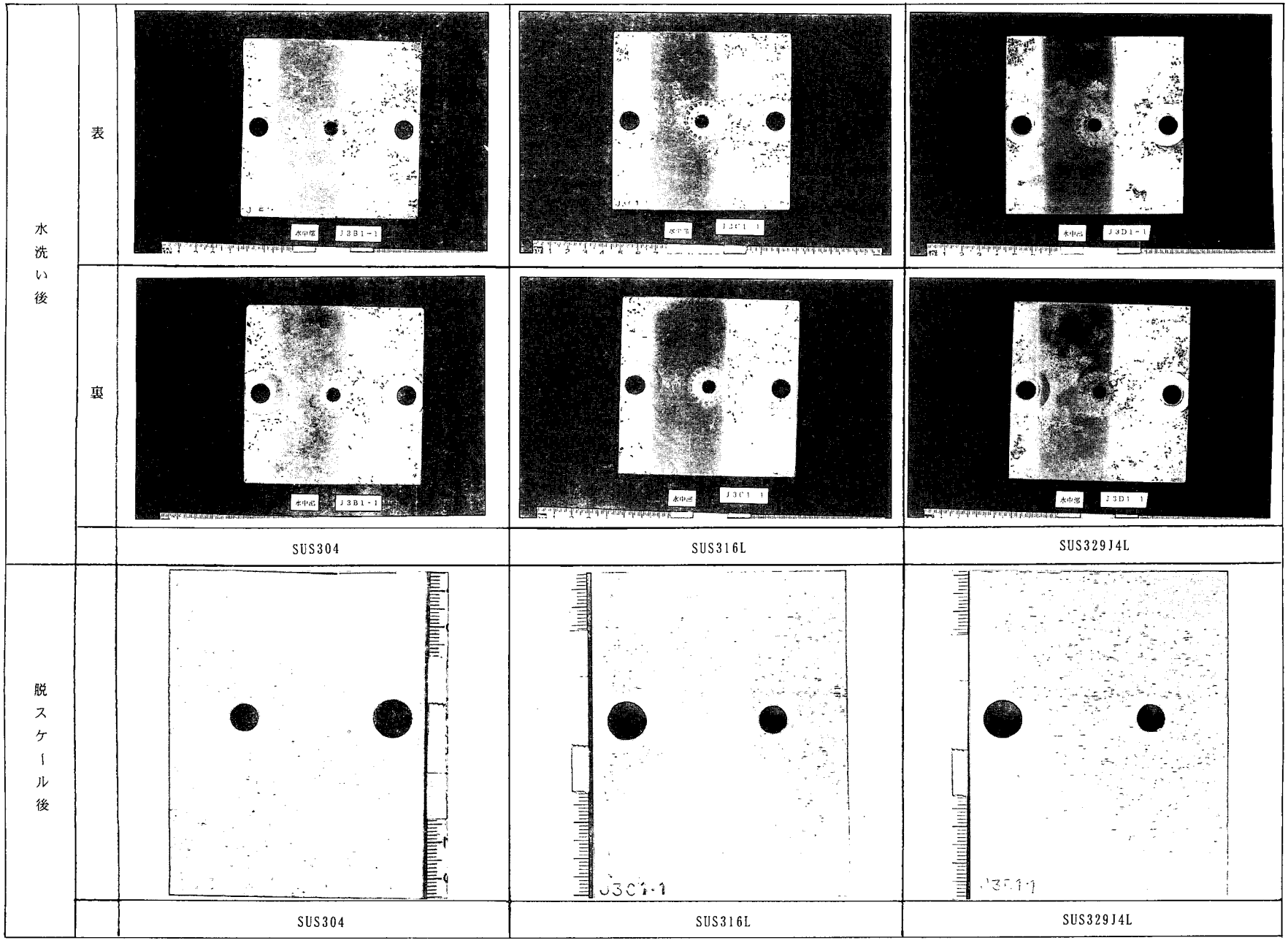


写真 3.4.8　水中部に暴露された溶接部すき間腐食試験片(SUS304, SUS316LおよびSUS329J4L)
のすき間腐食状況　(江戸川河口堰暴露場　1年間暴露)

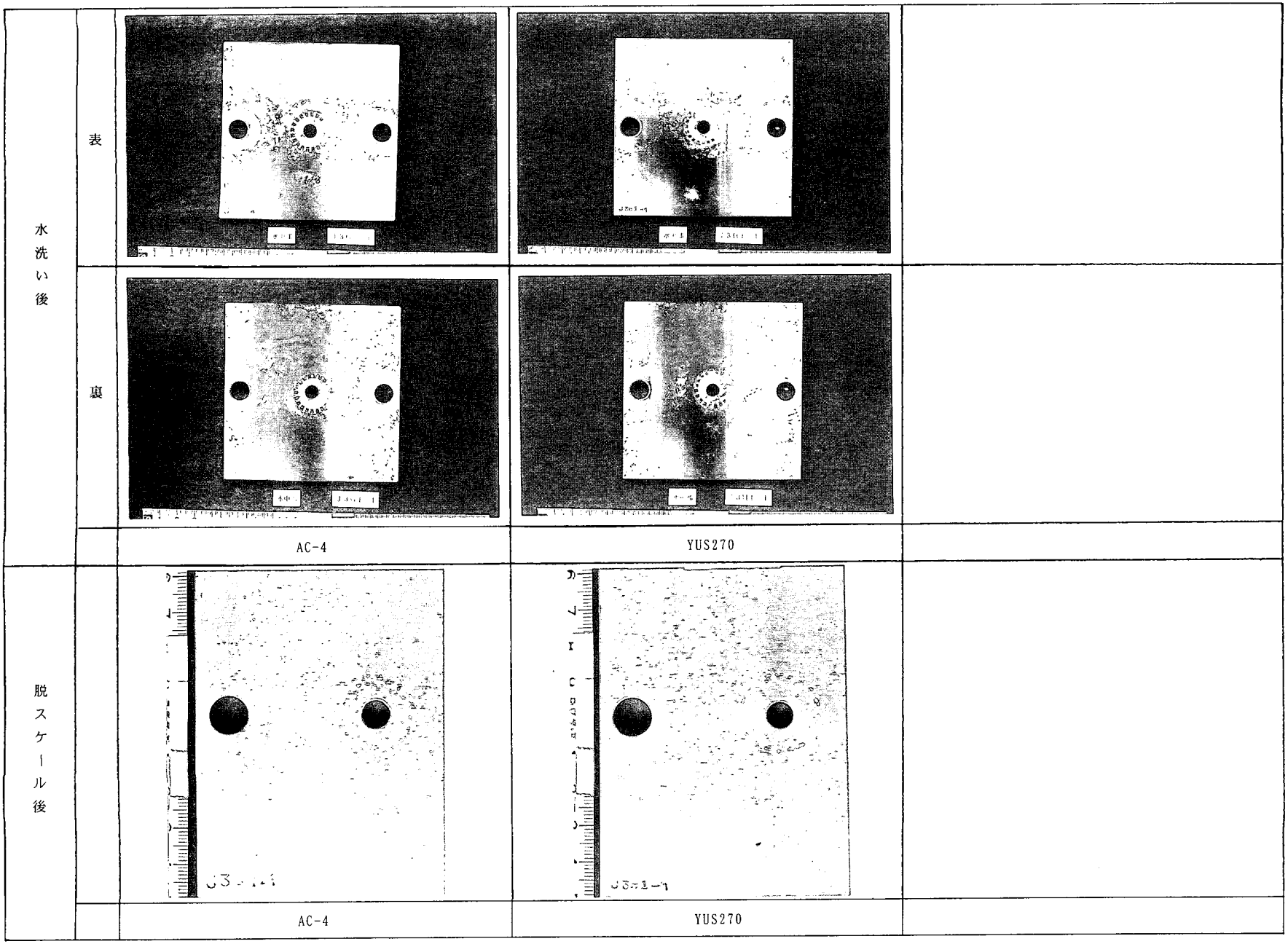


写真 3.4.9　水中部に暴露された母材部すき間腐食試験片(AC-4およびYUS270)
のすき間腐食状況　(江戸川河口堰暴露場　1年間暴露)

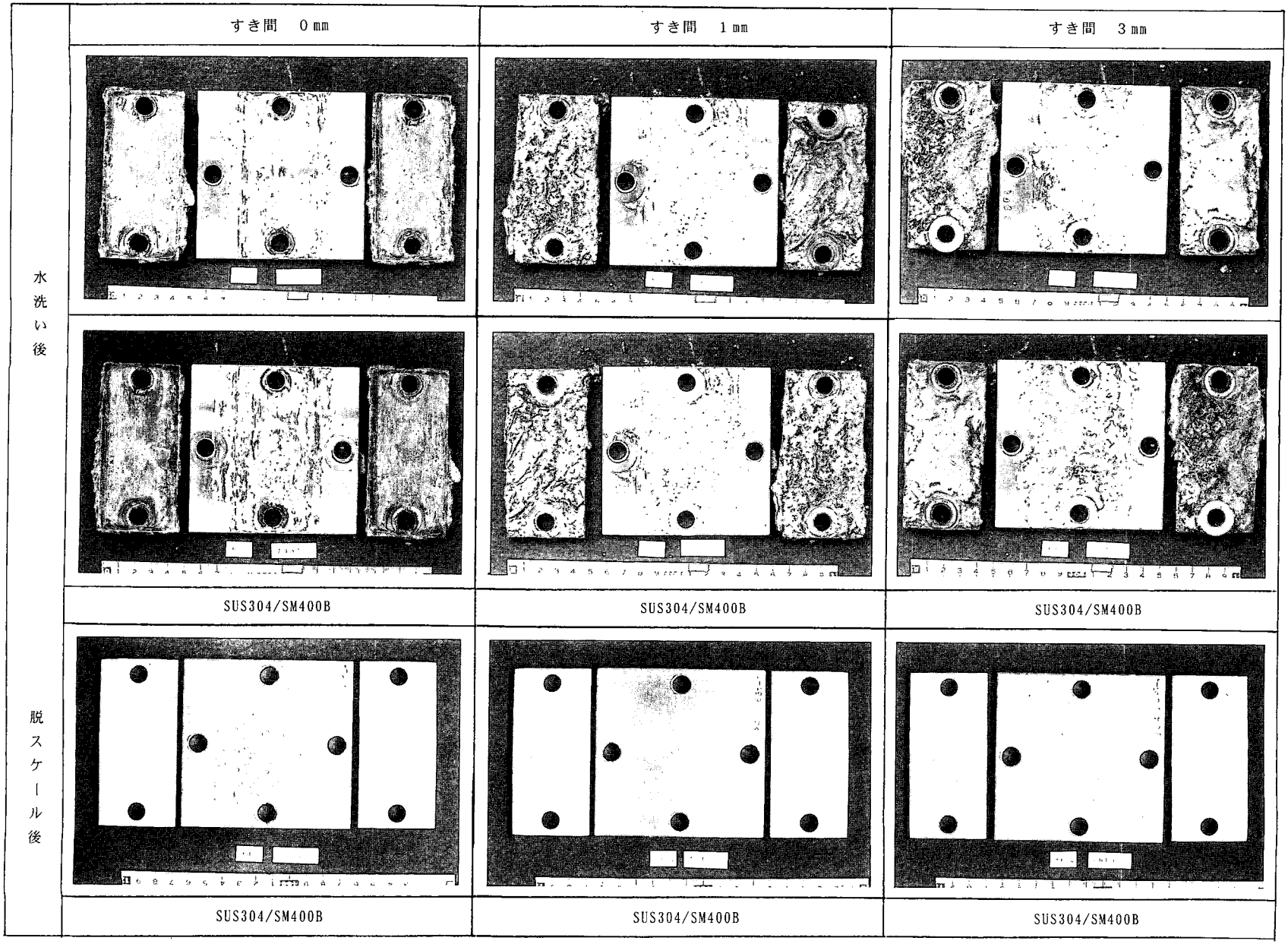


写真 3.4.10　水中部に暴露された異種金属接触腐食試験片(SUS304/SM400B)
の腐食状況(すき間の影響)(江戸川河口堰暴露場　1 年間暴露)

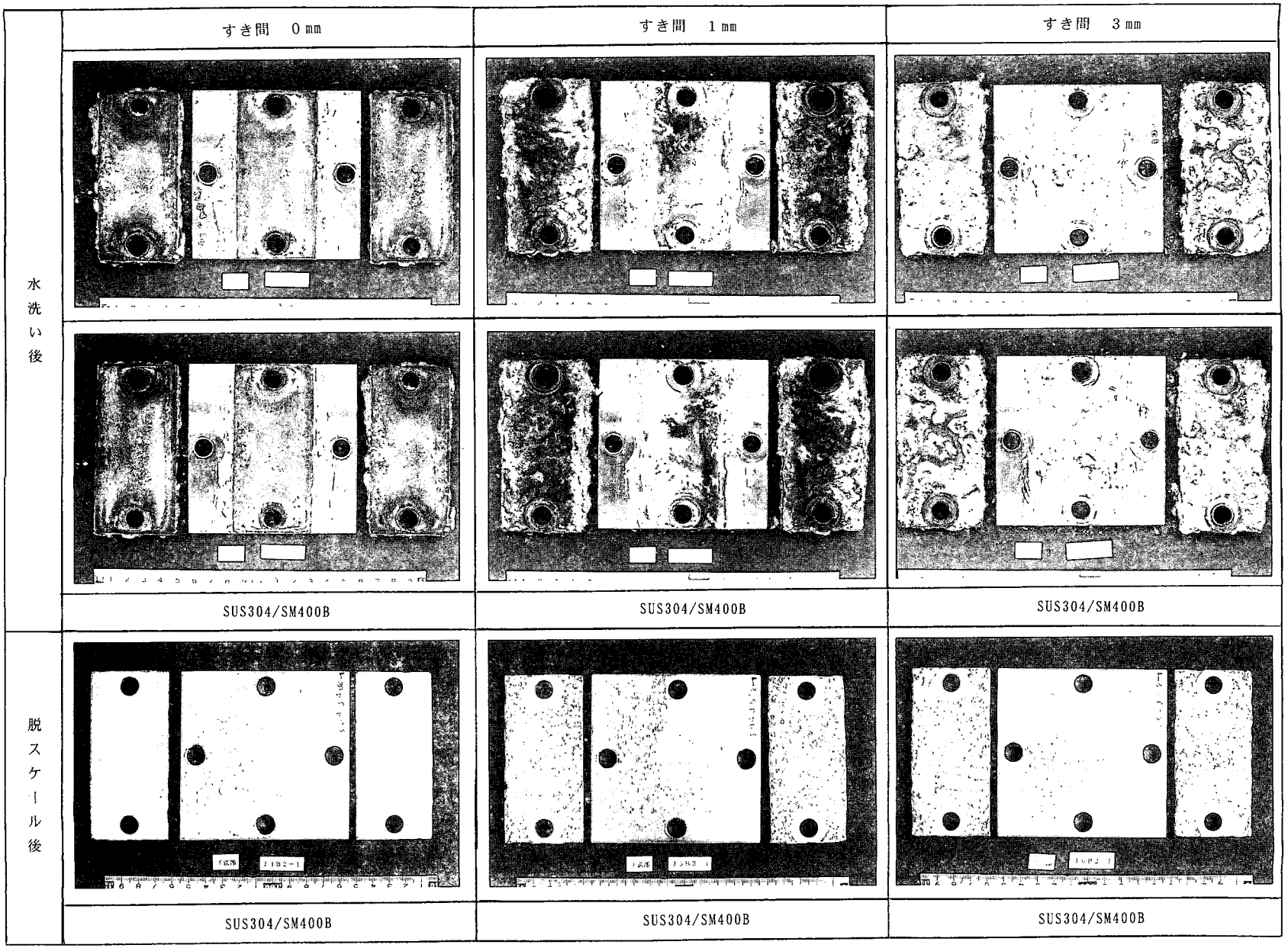


写真 3.4.11　干満部に暴露された異種金属接触腐食試験片(SUS304/SM400B)
の腐食状況(すき間の影響)(江戸川河口堰暴露場 1 年間暴露)

表3.4.1　現地電位測定結果（母材腐食試験片，水中部，その１）

［上流，３年間］

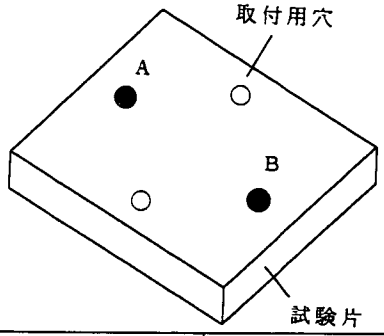
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	母材腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	J1B1-1	A	460	120
						B	470	122
			○	SUS316L	J1C1-1	A	190	-42
						B	182	-42
			○	SUS329J4L	J1D1-1	A	178	46
						B	179	45
			○	耐海水鋼A	J1E1-1	A	-576	-560
						B	-575	-566
			○	耐海水鋼B	J1F1-1	A	-568	-462
						B	-556	-455
			○	SM400B	J 1A1-1	A	-565	-506
						B	-566	-504

表3.4.2　現地電位測定結果（全面腐食試験片，干満部，その１）

［上流，３年間］

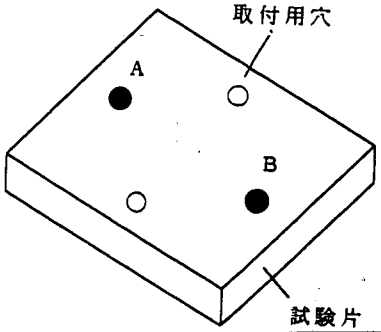
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
1 Type	全面腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	J1B2-1	A	418	410
						B	416	413
			○	SUS316L	J1C2-1	A	415	402
						B	416	401
			○	SUS329J4L	J1D2-1	A	414	410
						B	418	410
			○	耐海水鋼A	J1E2-1	A	-207	-205
						B	-220	-220
			○	耐海水鋼B	J1F2-1	A	-210	-237
						B	-203	-220
			○	SM400B	J 1A2-1	A	-280	-331
						B	-253	-303

表3.4.3　現地電位測定結果（母材部すき間腐食試験片，水中部，その１）

［上流，３年間］

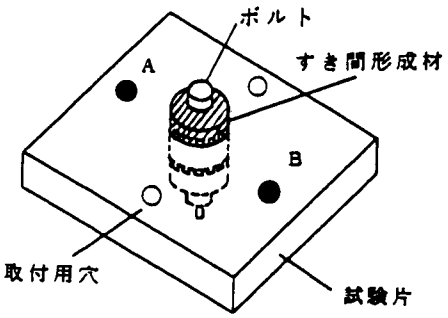
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
2 Type	母材部すき間腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	J2B1-1	A	232	37
						B	233	37
			○	SUS316L	J2C1-1	A	486	390
						B	485	415
			○	SUS329J4L	J2D1-1	A	-25	-60
						B	-24	-58

表3.4.4　現地電位測定結果（溶接部すき間腐食試験片，水中部，その１）

［上流，３年間］

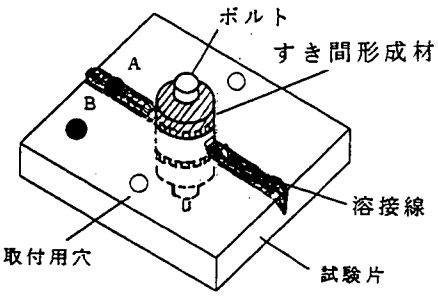
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
3 Type	溶接部すき間腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304	J3B1-1	A	360	161
						B	359	160
			○	SUS316L	J3C1-1	A	386	181
						B	375	180
			○	YUS270	J3H1-1	A	298	56
						B	298	57
			○	AC-4	J3G1-1	A	296	23
						B	295	23

表3.4.5　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，水中部，その１）

［上流，３年間］

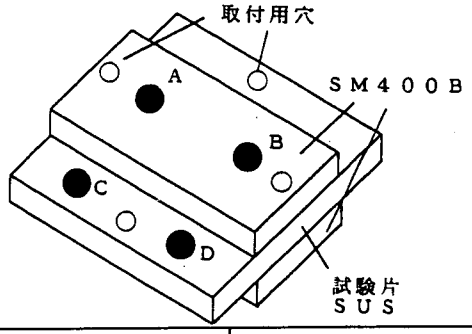
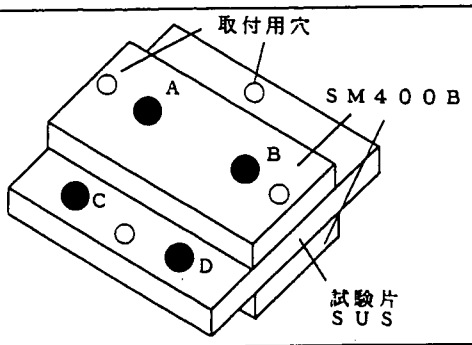
試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	水中部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304 ﾏｰｸJ4B1-1 (すき間0mm)	SM400B ﾏｰｸJ4B1-1A J4B1-1B	A	-569	-569
						B	-574	-572
						C	-559	-554
						D	-578	-574
			○	SUS304 ﾏｰｸJ5B1-1 (すき間1mm)	SM400B ﾏｰｸJ5B1-1A J5B1-1B	A	-568	-560
						B	-570	-563
						C	-563	-559
						D	-567	-563
			○	SUS304 ﾏｰｸJ6B1-1 (すき間3mm)	SM400B ﾏｰｸJ6B1-1A J6B1-1B	A	-573	-572
						B	-571	-564
						C	-564	-565
						D	-563	-562

表3.4.6　現地電位測定結果（異種金属接触腐食試験片，干満部，その１）

［上流，３年間］

試験片の種類		環境	暴露期間	試験片形状			腐食電位 (mV vs SCE)	
4 Type	異種金属接触腐食試験片	干満部	1年					
				鋼種	試験片番号		そのまま	水洗い
			○	SUS304 マークJ4B2-1 (すき間0mm)	SM400B マークJ4B2-1A J4B2-1B	A	-238	-237
						B	-243	-247
						C	-240	-211
						D	-240	-234
			○	SUS304 マークJ5C2-1 (すき間1mm)	SM400B マークJ5C2-3A J5C2-3B	A	-235	-220
						B	-240	-233
						C	-222	-207
						D	-242	-228
			○	SUS304 マークJ6D2-1 (すき間3mm)	SM400B マークJ6D2-3A J6D2-3B	A	-250	-254
						B	-244	-242
						C	-245	-241
						D	-265	-254

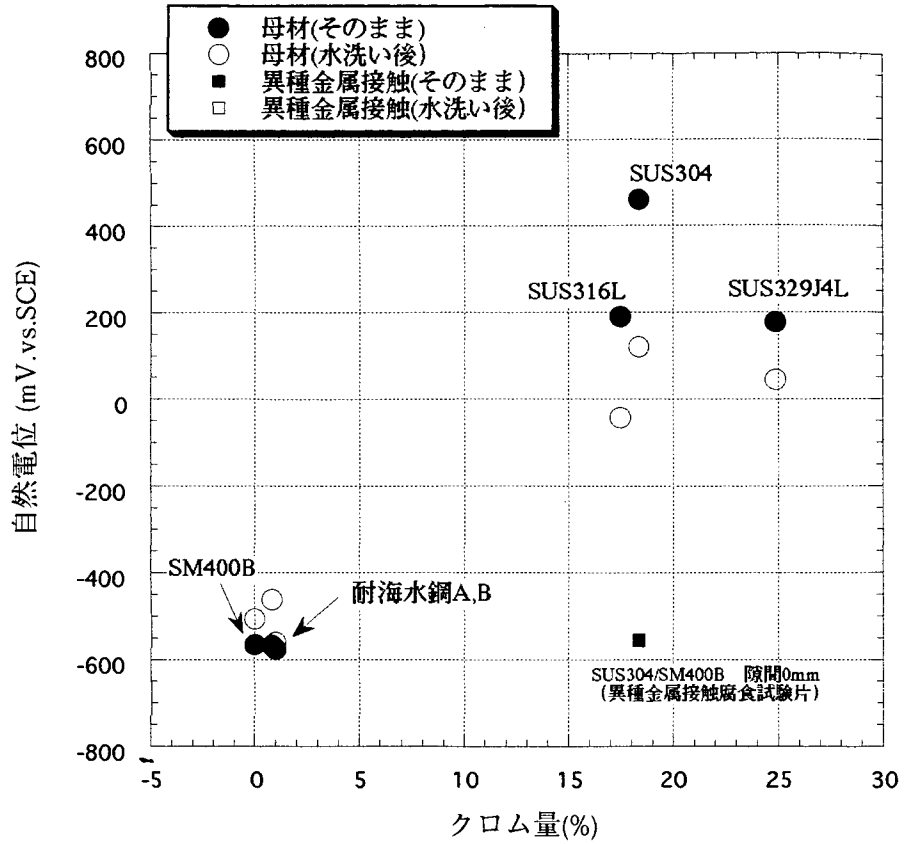


図3.4.1　母材腐食試験における自然電位（水中部）

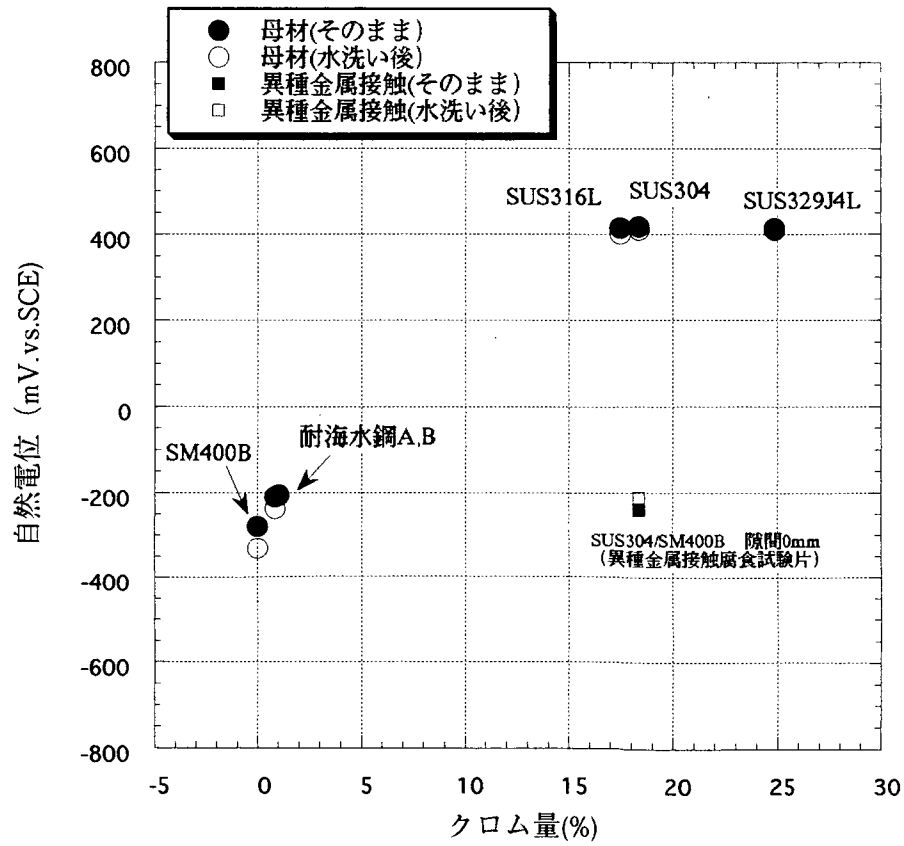


図3.4.2　母材腐食試験における自然電位（干満部）

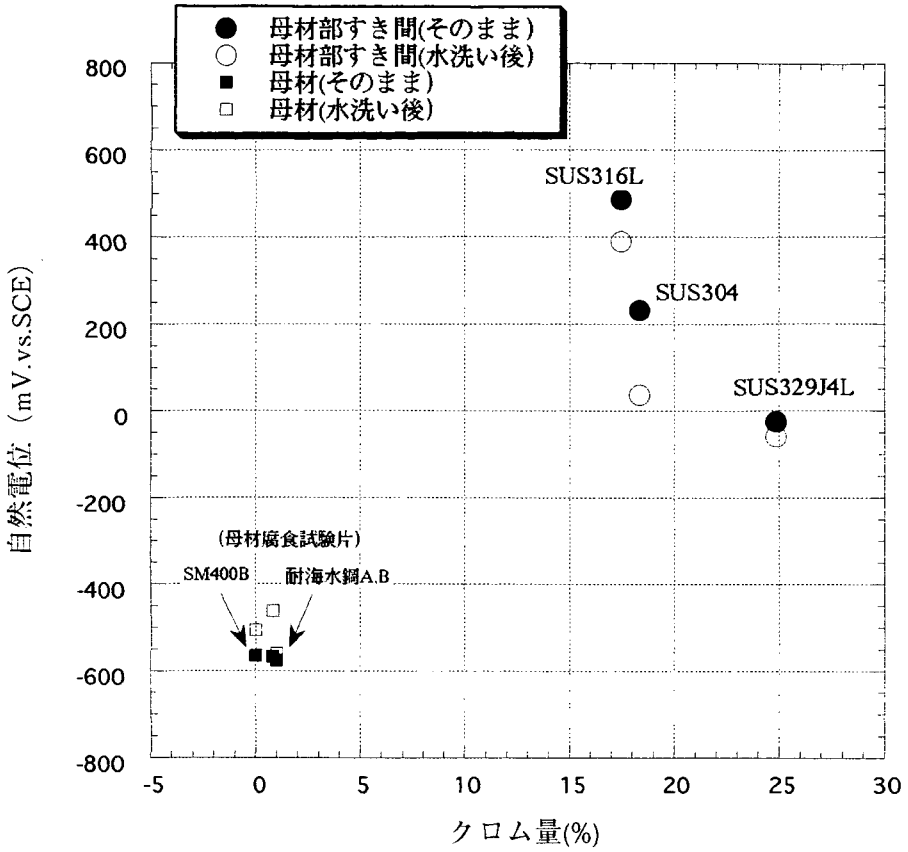


図3.4.3　母材部すき間腐食試験における自然電位（水中部）

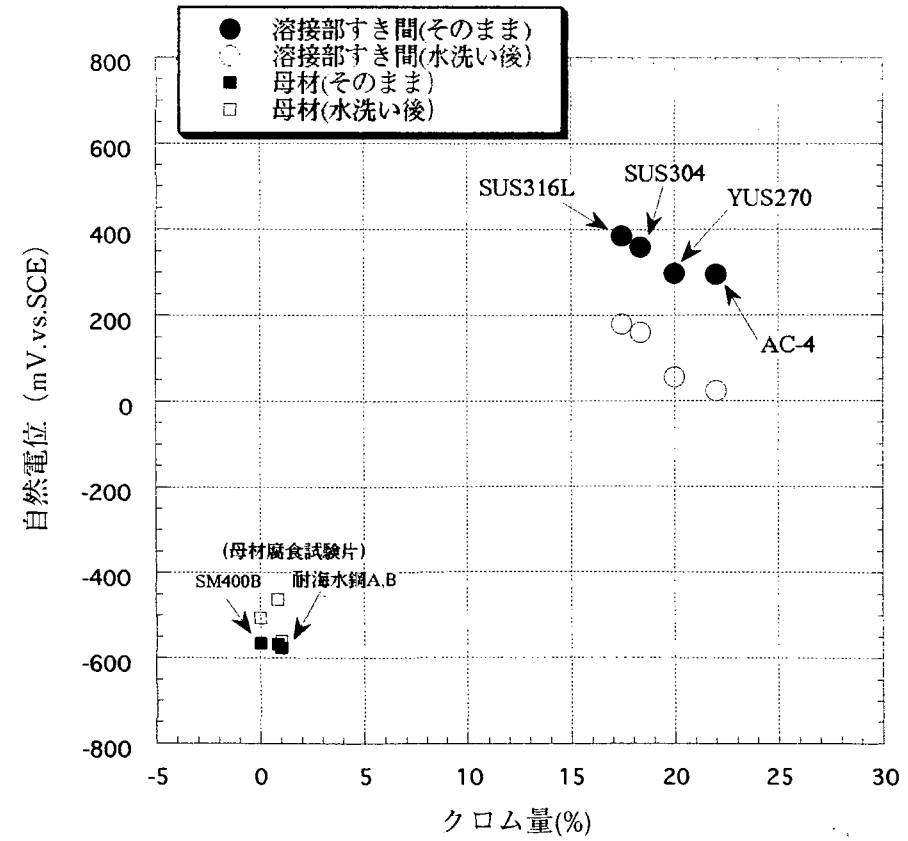


図3.4.4　溶接部すき間腐食試験における自然電位（水中部）

３．４．３調査項目

(1)水質

暴露試験場の腐食性を評価する。

(2)外観観察

各種材料の腐食状況を調べる。

(3)自然電位測定

現場での水洗い前後に自然電位を測定する。

３．４．４調査結果

(1)水質

江戸川河口堰上流（淡水域）で採取した水質分析結果を前章の表3.3.2に示す。

(2)外観観察

上流（淡水域）に１年間暴露されたSM400B,耐海水鋼Ａ,Ｂ(全面腐食試験片)の腐食状況を写真3.4.1～3.4.3に示す。いずれの材料も取り出しままでは全面腐食で覆われている。脱スケール後はいずれも凹凸状に腐食されている。

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lの腐食状況を写真3.4.4～3.4.6に示す。いずれのステンレス鋼も付着物が付いているが、特に孔食の発生は認められなかった。しかし、水中部のSUS304はＦＲＰのワッシャの下ですき間腐食が生じていた。

すき間腐食試験における各種ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L,YUS270,AC-4)の腐食状況を写真3.4.7～3.4.9に示す。いずれのステンレス鋼も水洗い後は付着物や赤錆（もらい錆）等がついているが、脱スケール後すき間治具部のすき間腐食や孔食は発生していなかった。すき間腐食はＦＲＰのワッシャの下で起こりやすいが、生じていなかった。

異種金属接触腐食試験におけるSUS304/SM400Bとの腐食状況を写真3.4.10と3.4.11に示す。

水中部の場合、SM400Bは赤錆が全面に発生している。この錆がSUS304の表面にもらい錆として付着している。SUS304とSM400Bとのすき間が1mm以上になるとSUS304へのもらい錆が多いように思われる。

脱スケール後、SUS304は孔食やすき間腐食が発生していなかった。このことはSM400Bによる犠牲防食の効果と考えられる。SM400BはSUS304と接触している面は凹凸状に腐食されていなくほぼ均一であった。

干満部の場合、水中部と較べてSUS304には赤錆が付着しているが、一部黒くなっている所もある。これはSM400Bの赤錆(FeOOH)が一部Fe_3O_4へ変化したものと考えられる。したがって、SM400Bも試験片の周りが赤錆で接触部が黒赤になっている。しかし、すき間が3mmになるとSM400Bの黒錆は非常に少なくなっている。

脱スケール後、SUS304は水中部と同様な結果で孔食やすき間腐食が発生していなかった。しかしSM400Bはすき間が1mm以上で若干凹凸状に腐食している。

(3)自然電位測定

母材腐食試験,すき間腐食試験および異種金属接触腐食試験の自然電位測定結果を表3.4.1～3.4.6に示す。これらの全データをまとめたものを図3.4.1～3.4.4に示す。

1)水中部での自然電位

①母材腐食試験の自然電位

SM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は、図3.4.1に示すように、そのままでは約-580 mVであ

ったが、水洗いすると若干自然電位が貴側へ移行した。

クロム含有量の多いステンレス鋼（SUS316LおよびSUS329J4L）の自然電位は、いずれも約200mVであったが、水洗いを行うと電位が50～60mV卑側（低く）になった。このことは試験片に付着している藻および微生物の影響と考えられる。

SUS304は自然電位が約430mVで非常に高くなっていたが、水洗いすると約170mVまで低下し、この値はSUS329J4Lの値に近づいている。

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lの自然電位は下流（汽水域）と上流（淡水域）とのを較べると、上流（淡水域）の方が電位の貴化が大きいことがわかった。

江戸川上流（淡水域）と七ヶ宿ダム湖の自然電位を較べると、七ヶ宿ダム湖の方が電位の貴化が大きいことがわかった。この理由としては明白でないが、そこに生息する藻や微生物の種類が異なるためと考えられる。

②すき間腐食試験の自然電位

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lの自然電位は、図3.4.3に示すように、クロム量が17.5%(SUS316L)で最大電位を示し、これよりもクロム量が大きくなると自然電位が約０mVまで下がっている。

一方、水洗い後の自然電位はSUS316LおよびSUS304共に卑側になっているがSUS329J4Lはあまり変化がなかった。

SUS316LとSUS329J4Lは、いずれもすき間腐食および孔食が生じていないことから、この自然電位の低下は不働態皮膜の破壊によるものかあるいは微生物等の付着の為による相違によるものか否かは不明である。

一方、溶接部すき間腐食試験における自然電位を図3.4.4に示す。溶接材の腐食電位は300～400mVであり、母材よりも電位が貴側にある。しかし、水洗い後の各種ステンレス鋼の腐食電位は約200mVも卑になっている。

いずれにしてもクロム量が増えると自然電位が上昇しているが、母材と同時に溶接部の電位は18%クロムでもっとも高い電位を示している。

2)干満部での自然電位測定

①母材腐食試験の自然電位

SM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は、図3.4.2に示すように、-230～200mVで水中部よりも自然電位が高い。この傾向は下流（汽水域）と同じ挙動を示した。

SUS304,SUS316LおよびSUS329J4Lは自然電位が約400mVでほぼ同じ値を示した。また水洗い後の自然電位の低下も認められなかった。

なぜ水洗いしても電位が低下しないかは不明であるが、測定時大気中に曝されているために付着物等が乾燥していた。この試験片を水中に約１０分間浸漬して電位測定後、さらに付着物を水洗いしても電位が下がらなかったことは微生物や藻等が餓死しても一度貴化したら電位が下がらなかったものと推測される。

3．5まとめ

3．5．1腐食速度評価

(1)外観観察

1)下流（汽水域）で1年間の暴露試験後、ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L）には貝（フジツボ）や藻が付着していたが、SS400Bおよび耐海水鋼は赤錆が発生し、貝や藻が付着していなかった。

2)上流（淡水域）で1年間の暴露試験後、ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)には貝が付着していないが、藻と赤錆が付着していた（もらい錆の可能性ある)。

SM400Bおよび耐海水鋼には全面に赤錆が発生していた。

(2)腐食速度評価

1)下流（汽水域）でのSM400B,耐海水鋼および各種ステンレス鋼の平均腐食速度

SM400Bは干満部(0.215mm/年)＞水中部(0.152mm/年)≫大気部(0.0207mm/年)であった。これは、従来海水環境下で得られている知見の干満部0.1～0.3mm/年,水中部0.1～0.2mm/年に近い値を示しており、汽水域であることを考慮すると、海水の影響が出ているものと示唆される。

耐海水鋼は、干満部(0.104mm/年)≒水中部(0.111mm/年)≫大気部(0.018mm/年)であった。この値は上記の普通鋼と較べて干満部５０％，水中部７３％，大気部８７％と小さい値となっており、耐海水鋼は汽水域でもある程度の防食効果が得られたが、まだ1年間のデータでは腐食速度が一定となっていないために、長時間の暴露が必要である。

ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)は干満部，水中部，および大気部においても全面腐食は無視できる値(<0.001mm/年)であった。

(3)すき間腐食

1)下流（汽水域）での1年間の暴露試験結果

ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)の母材でのすき間腐食試験では、ポリサルホン樹脂とのすき間で腐食は発生していないが、ＦＲＰとのすき間において、SUS304に0.15mm深さのすき間腐食が発生していた。SUS316Lはすき間腐食が生じていなかったが、自由表面で 0.02mm深さの孔食が発生していた。SUS329J4LはSUS304およびSUS316Lよりも耐すき間腐食性に優れている材料であるが、0.01mm深さの微小なすき間が生じている。今後、長時間暴露試験において、これらのすき間腐食が成長するか否かを確認することが重要である。

(4)自然電位測定

1)下流（汽水域）での1年間の暴露試験

SM400B,耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は、水中部で水洗いの有無に関係なく約-620mV(VS,SCE)である。しかし、干満部では水中部より自然電位が貴で約-230mVである。この理由としては、錆の組成が異なることや、厚さが非常に大であることが影響していると考えられる。

SUS304は自然電位が-75mVで低い値を示した。すき間腐食を生じているためと考えられる。

SUS316LおよびSUS329J4Lは自然電位が24mVと135mVであり、この値は上流（淡水域）の値よりも低い。

一方、溶接部すき間腐食試験のSUS316LとSUS329J4Lの自然電位は約400mVまで貴化しているが、SUS304は-123mVで低かった。この電位低下は不働態皮膜が破壊されて、すき間腐食が発生したためと推測される。

2)上流（淡水域）での１年間の暴露試験

SM400B,耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は水中でそのままでは約-580mVであった。この電位は上流（汽水域）とほぼ同じ値であった。

クロム含有量の多いステンレス鋼、すなわちSUS316LとSUS329J4Lの自然電位はいずれも約200mVであったが、水洗いをして藻や微生物等を除去すると電位が低下する。この傾向は七ヶ宿ダム湖でも同様な傾向を示したが、江戸川上流よりも七ヶ宿ダム湖の方が電位の貴化が大きい。この理由としては明白ではないが、そこに生息する藻や微生物の種類が異なる為と考えられる。

すき間腐食試験におけるステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)の自然電位はクロム量が17.5%で最大値を示し、これより多くても電位が低下する場合があるが、その原因は不明である。

一方、溶接部すき間腐食試験では自然電位は約300～400mVであり、母材よりも貴側にある。しかし水洗いして藻や微生物を除去すると、自然電位が約200mVも低下する。

干満部でのSM400Bおよび耐海水鋼Ａ，Ｂの自然電位は約-210mVで、水中部よりも電位が高い。この傾向は下流（汽水域）と同じであった。ステンレス鋼(SUS304,SUS316L,SUS329J4L)は自然電位が約400mVでほぼ同じ値を示した。

今回の報告は暴露試験期間が１年間であり、SUS304などに微細な孔食およびすき間腐食が発生していることを述べたが、これらの局部腐食深さが今後成長・進展するかどうかを見きわめることが重要で、長期試験によりどの材料が使用可能であるかを明らかにする必要がある。

4．溶接後の表面処理および微生物の影響調査

4．1調査概要

現在、ダム・堰・水門などの設備に使用されているステンレス材料の溶接後の表面処理状態としては、①グラインダ仕上げ，②グラインダ仕上げ＋酸洗い（不動態化処理）の２とおりがあり、表面処理方法の腐食への影響を明らかにする必要がある。また、淡水環境においてステンレス材料に微生物によると思われる孔食が発生し、ダム施設のステンレス材料への影響を明らかにする必要がある。

このため、ダム湖や河川などの淡水環境において暴露試験を行い、ステンレス材料の腐食に及ぼす表面処理方法および微生物の影響を明らかにすることを目的とする。

4．2暴露試験環境

4．2．1暴露場所

暴露試験は、下記の４箇所（淡水）で実施した。

（1）七ヶ宿ダム湖（建設省東北地方建設局七ヶ宿ダム管理所）

（2）江戸川閘門　（建設省関東地方建設局江戸川工事事務所江戸川河口出張所）

（3）大町ダム湖　（建設省北陸地方建設局大町ダム管理所）

（4）奈良俣ダム湖（水資源開発公団奈良俣ダム管理所）

4．2．2設置方法

暴露試験片は、図4.2.1 の取付け枠に設置し、ダム湖では流木防止ネットに吊るし、江戸川では閘門上流側の壁面に取り付け、いずれも水深約１～1.5mに浸漬した。

暴露場所	試験数	浸　漬　日
七ヶ宿ダム湖	１セット	平成７年７月１２日
江戸川閘門	２セット	平成７年７月２０日
大町ダム湖	１セット	平成７年７月２１日
奈良俣ダム湖	２セット	平成７年７月２４日

4．3試験片

4．3．1供試材の化学組成

供試材の化学組成を表4.3.1 に示す。

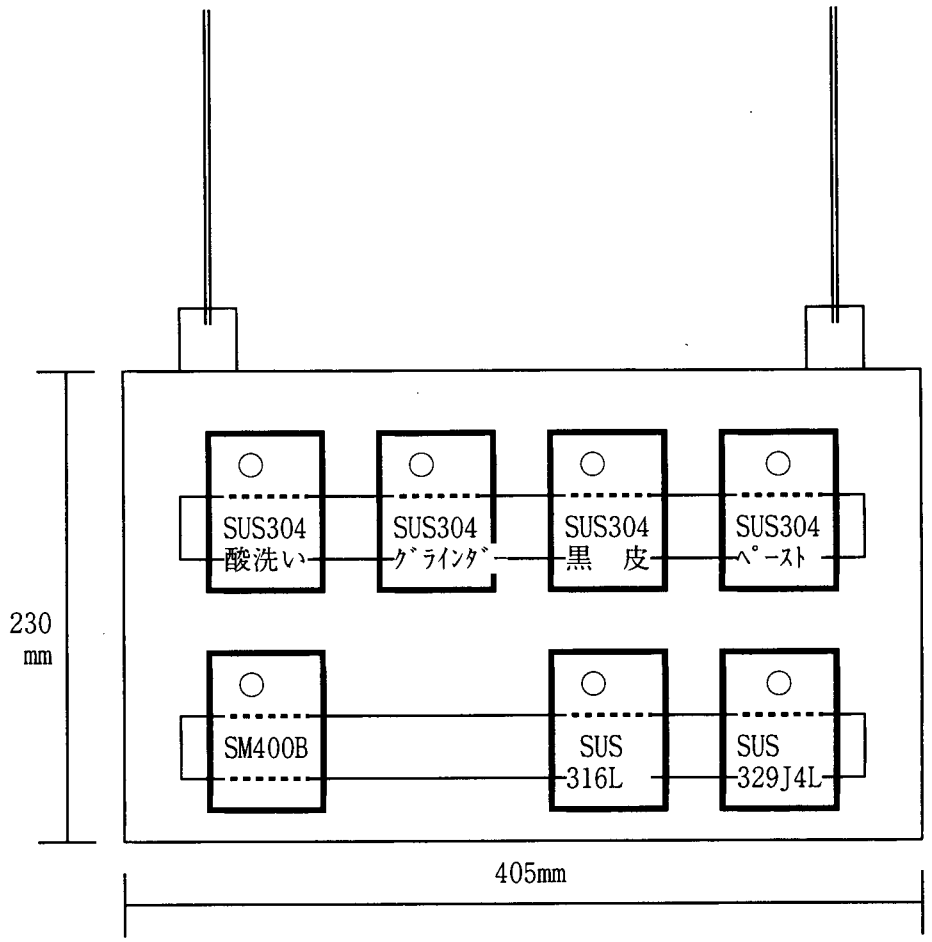

SUS304
酸洗い
SUS304
ｸﾞﾗｲﾝﾀﾞｰ
SUS304
黒　皮
SUS304
ﾍﾟｰｽﾄ
SM400B
SUS
316L
SUS
329J4L
230
mm
405mm

図4.2.1　試験片の配置

表4.3.1　供試材の化学組成　(wt%)

鋼種　元素	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	その他
SM400B	0.12	0.23	0.62	0.014	0.002	—	—	—	
SUS304	0.04	0.53	1.10	0.034	0.006	8.49	18.35	—	
SUS316L	0.019	0.62	0.90	0.03	0.001	12.10	17.47	2.1	
SUS329J4L	0.019	0.56	0.91	0.023	0.001	7.26	24.86	2.98	0.42Cu 0.29W

4．3．2溶接材の化学組成

溶接材の化学組成を表4.3.2 に示す。

表4.3.2　溶接材の化学組成　(wt%)

母　材	溶接棒	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	棒径
SUS304	WEL 308	0.062	0.43	1.42	19.55	9.60	—		4 mm
SUS316L	WEL 316L	0.030	0.39	1.56	19.62	12.83	2.53		4 mm
SUS329J4L	WEL 329J4L	0.029	0.28	0.73	25.58	9.31	3.93	0.26	4 mm

4．3．3溶接条件

溶接条件を表4.3.3 に示す。

表4.3.3 溶接条件

電　流 (A)	電　圧 (V)	速　度 (mm/min)	入　熱 (Joule/cm)	予　熱
140	25	200	10500	なし

4．3．4試験片の溶接

試験片の溶接位置および溶接時の拘束方法を図 4.3.1～2 に示す。

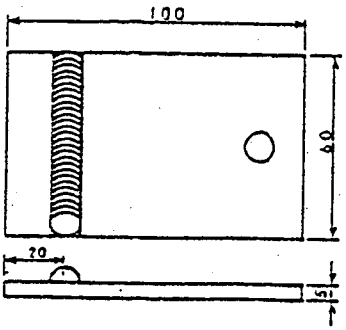


図 4.3.1　試験片寸法および溶接位置

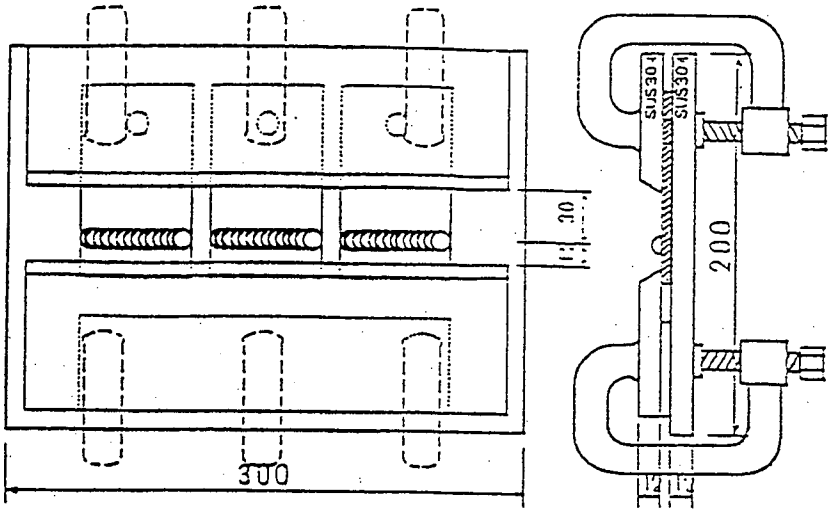


図 4.3.2　試 験 片 の 拘 束

4．3．5溶接後の表面処理方法

溶接後の試験片の表面処理は以下のように行った。

（1）浸漬型酸洗い（ラスノンウエルP-500, 試験片記号D）

1）溶接後のスパッタ，スラグ，異物，油脂の除去・清掃

チッピングハンマーおよびタガネでスラグおよびスパッタを除去後、ステンレス製ワイヤブラシで付着スラグ，酸化膜その他の異物を清掃した。ただし、試験片裏面の変色部は、そのまま残した。最後にアセトンで洗浄し油脂などの汚れを除去した。

2）酸洗剤

SUS304, SUS316L: ラスノンウエルP-500 原液1を水3で希釈したものに室温に1時間15分間浸漬し、良好な酸洗が得られた。

SUS329J4L:ラスノンウエルP-500 原液1を水3で希釈したものに室温に1時間15分間浸漬したが、良好な酸洗が得られなかった。このため、さらにラスノンウエルP-500

原液を７０℃に加熱した中に５分間浸漬し、良好な酸洗が得られた。

３）水洗

流水中で十分な水洗を行った。

４）乾燥条件

８０℃のオーブン中で３０分間乾燥した。

（２）塗布型酸洗い（ラスノンウエルM-500,試験片記号Ｐ）

１）溶接後のスパッタ，スラグ，異物，油脂の除去・清掃

チッピングハンマーおよびタガネでスラグおよびスパッタを除去後、ステンレス製ワイヤブラシで付着スラグ，酸化膜その他の異物を清掃した。ただし、試験片裏面の変色部は、そのまま残した。最後にアセトンで洗浄し油脂などの汚れを除去した。

２）酸洗剤

ペースト状の酸洗剤を動物製のはけを使用して、試験片全面に均一に塗布し、室温で１時間１５分間放置した。

３）水洗

流水中で、はけを使用してペースト状の酸洗剤を除去し、十分な水洗を行った。

４）乾燥条件

８０℃のオーブン中で３０分間乾燥した。

（３）グラインダー仕上げ（試験片記号Ｇ）

１）粗仕上げ

ステンレス用砥石（粒度＃３６）で溶接部のスパッタ，スラグおよび変色部を除去した。

２）仕上げ

ステンレス用ペーパーホイル（粒度＃２４０）で溶接部および裏面の変色部を研磨した。

（４）未処理（黒皮）

チッピングハンマーでスパッタ，スラグを除去した後、ワイヤブラシで溶接部を除去した。試験片裏面の変色部についてはそのままとした。

なお、SM400Bは、暴露環境の腐食性を評価するため、溶接は行わず機械仕上げを行い脱脂洗浄した。

４．４調査項目

浸漬期間別の調査項目を表4.4.1 に示す。

表4.4.1 試験項目

暴露期間	外観調査	写真撮影	電位計測	水質調査	付着物調査	顕微鏡調査
開　始	●	●	●	●	—	—
3ヶ月	●	●	●	—	—	—
1　年	●	●	●	●	—	—
2　年	●	●	●	●	—	—
3　年	○	○	○	○	○	○

● :調査済
○ :平成10年度調査予定

4．4．1外観調査

所定時に浸漬している試験片を枠ごと引き上げた状態および付着物を除去した後に拡大鏡で外観観察し写真撮影を行った。

4．4．2電位計測

所定時に試験片の母材部（表裏）および溶接部上の電位を飽和かんこう電極（ＳＣＥ）を基準電極として現地で計測した。

4．4．3水質調査

試験片調査時に各暴露場所から採取した水について、代表的な水質項目についてＪＩＳ　Ｋ０１０１（工業用水試験法）に準拠して分析した。また、硫酸塩還元菌（ＳＲＢ）をＭＰＮ算出法（新編土壌微生物実験法；土壌微生物研究会編）を参考にして、従属栄養細菌をＲＧＹ寒天平板培養法（上水試験法1993年；日本水道協会）で分析した。

4．5調査結果

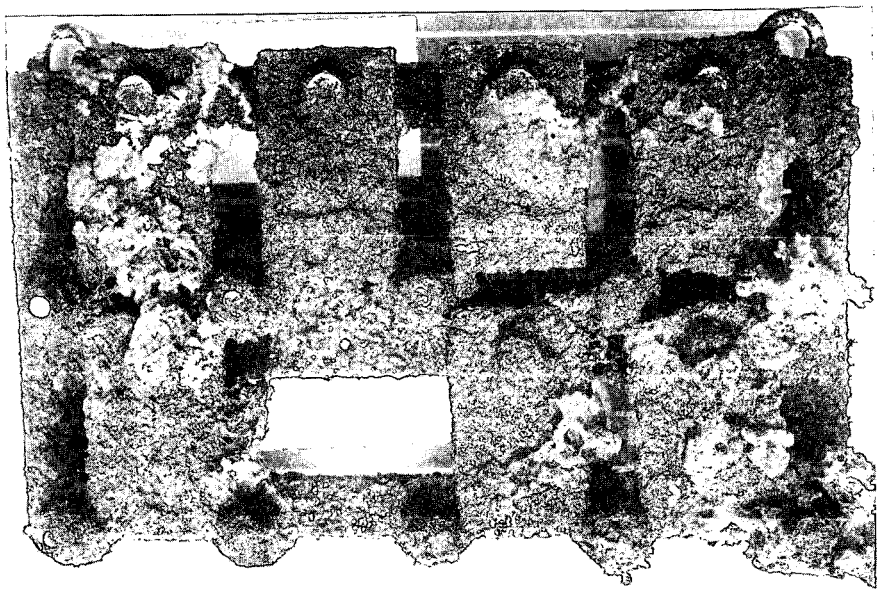
4．5．1外観観察結果

暴露2年後の付着物除去前後の試験片の状況を写真 4.5.1～4 に示す。

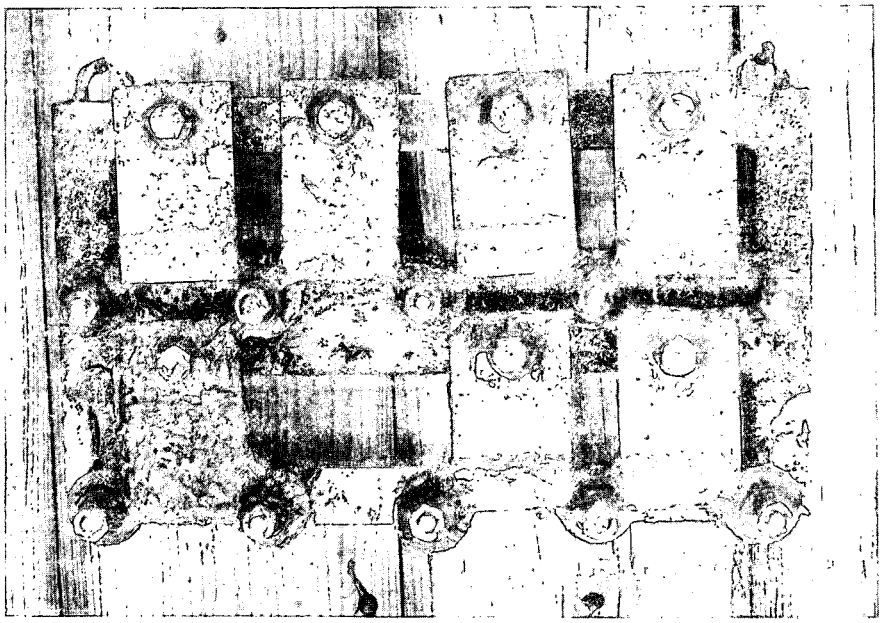
暴露1年後の調査時に、七ヶ宿ダムおよび大町ダムに暴露していたSUS304-PおよびSUS316L-D の溶接部近傍にごく微小な孔食が観察されたが、暴露2年後の調査では、いずれの試験片にも表面処理の影響や孔食は見られなかった。

4．5．2電位計測結果

試験片の経時の電位計測結果を表4.5.1,図 4.5.1～14に示す。江戸川を除いた他の暴露場所では、電位は貴化しており、およそ 200～400(mV vs SCE)を示している。

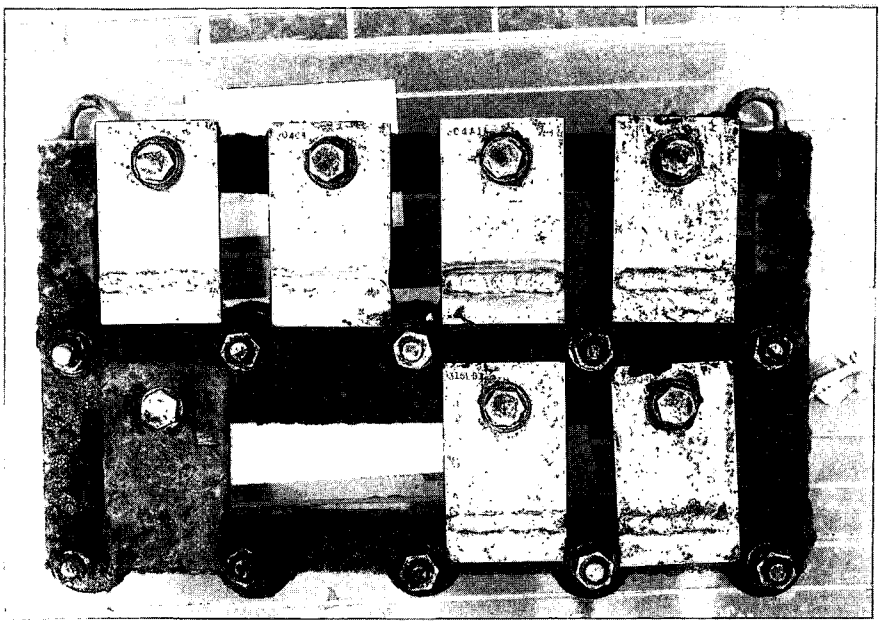


江戸川河口

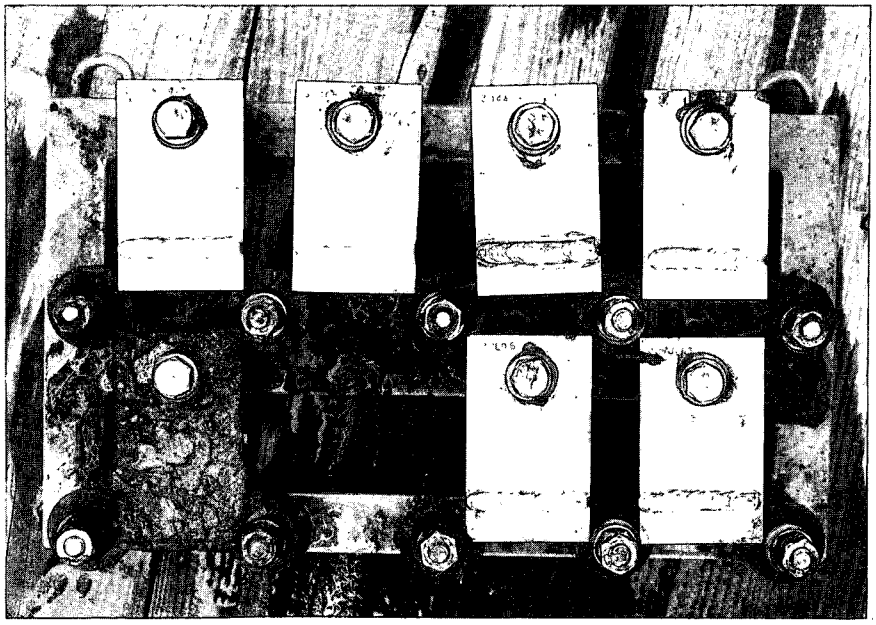


奈良俣ダム湖

写真４．５．１　各浸漬場所における２ヶ年後の状況・付着物あり

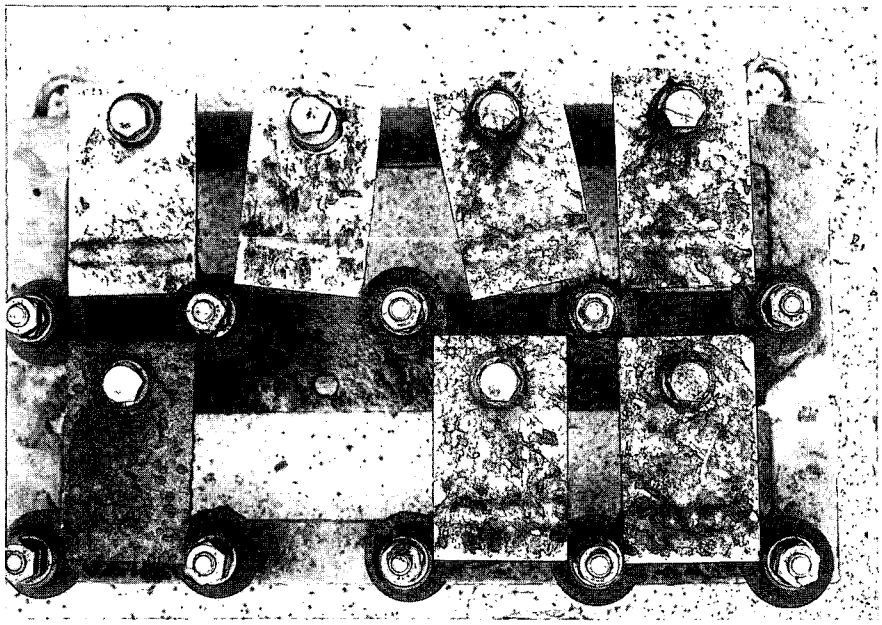


江戸川河口

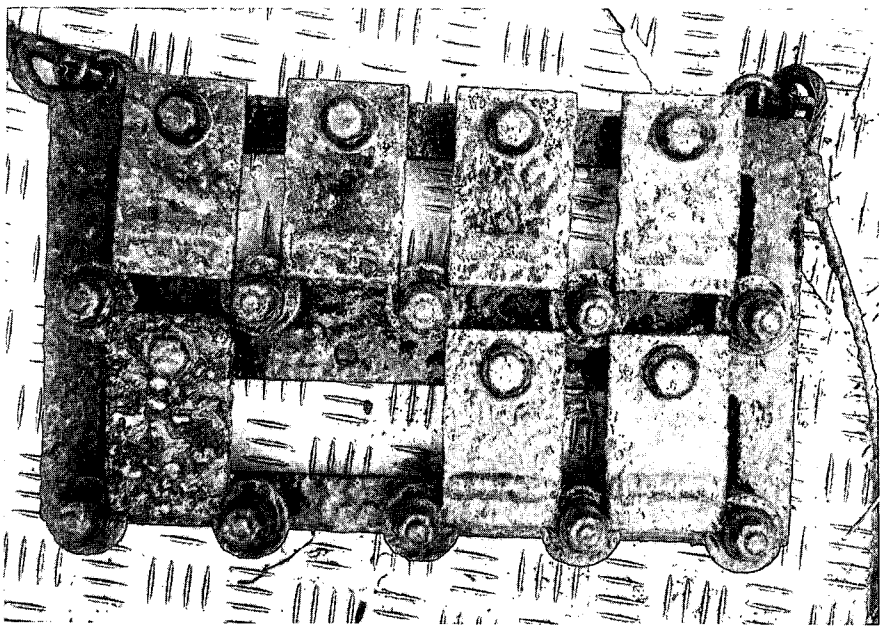


奈良俣ダム湖

写真４．５．２　各浸漬場所における２ヶ年後の状況・付着物除去

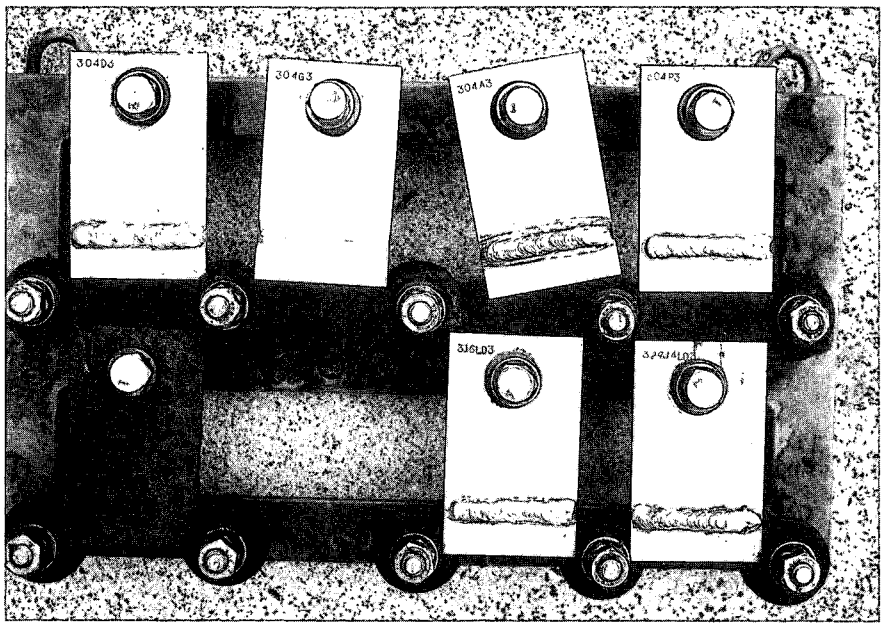


七ヶ宿ダム湖

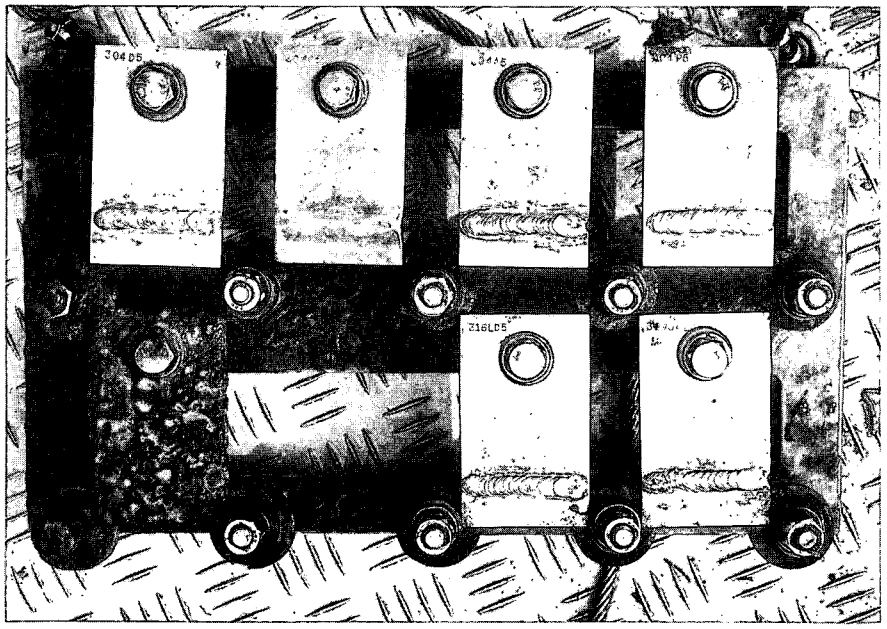


大町ダム湖

写真４．５．３　各浸漬場所における２ヶ年後の状況・付着物あり



七ヶ宿ダム湖



大町ダム湖

写真４．５．４　各浸漬場所における２ヶ年後の状況・付着物除去

表4.5.1.(1) 浸漬試験片電位測定結果(1)

場所、試験片作成方法及びNo			ビード上						母材表						母材裏					
			江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町
鋼種	測定期間	測定方法	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5
SUS304D 浸漬酸洗	初期		-52	-18	-27	-66	-85	-108	-51	-23	-21	-65	-83	-121	-30	-40	-6	-52	-61	-94
	3ヶ月後	付着物あり		483	51		278			485	67		278	231		484	75		290	237
		付着物除去		447	48		273	229												
	1年後	付着物あり	321	-109	205	113	287	299	327	-107	211	118	290	299	327	-100	240	109	289	300
		付着物除去	290	-147	157	25	286	302	291	-146	166	45	285	302	316	-127				287
	2年後	付着物あり	-130		238		303	397	-103		238		301	398	-117		248		260	371
	〃	付着物除去	-193		241		261	248	-186		245		261	376	-118		266		270	289
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		
SUS304G グラインダー	初期		-24	-88	-194	-160	-176	-102	-23	-88	-191	-162	-172	-100	11	-99	-180	-147	-134	-123
	3ヶ月後	付着物あり		217	333		295			217	337		298	323		220	337		-303	323
		付着物除去		148	283		292	321												
	1年後	付着物あり	23	-17	264	272	310	405	27	-11	267	285	317	405	44	-12	271	297	315	404
		付着物除去	29	-63	172	296	311	396	31	-64	175	302	309	395	45	-45				386
	2年後	付着物あり	48		346		283	397	50		340		284	397	51		183		253	388
		付着物除去	-168		148		254	383	-166		151		253	388	45		149		263	377
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		
SUS304A ASWELD	初期		-272	-198	-221	-286	-231	-262	-257	-198	-220	-234	-208	-226	-201	-189	-215	-214	-187	-214
	3ヶ月後	付着物あり		343	113		308			348	117		310	330		350	117		301	328
		付着物除去		225	36		300	329												
	1年後	付着物あり	402	-14	221	247	300	417	306	12	225	258	302	416	299	-27	254	264	299	416
		付着物除去	249	-43	151	279	298	404	250	43	155	285	296	404	253	32				387
	2年後	付着物あり	201		375		266	394	202		372		266	395	196		263		265	381
		付着物除去	-149		135		242	354	-145		139		245	360	-58		151		248	350
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		
SUS304P ペースト酸洗	初期		-79	-66	10	-102	-111	52	-75	-66	11	-99	-111	52	-54	-68	8	-91	-87	32
	3ヶ月後	付着物あり		477	341		289			493	345		289	319		496	340		296	317
		付着物除去		474	299		288	319		477										
	1年後	付着物あり	201	121	268	257	302	373	204	-118	271	259	302	372	78	-123	291	262	300	365
		付着物除去	37	-154	214	289	301	354	38	-153	214	290	299	354	38	-144				290
	2年後	付着物あり	5		103		281	430	5		106		281	428	-1		-81		275	417
		付着物除去	-147		-125		266	398	-147		-125		265	396	-142		-134		271	398
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		

(mV vs SCE)

表4.5.1.(2)浸漬試験片電位測定結果(2)

場所、試験片作成方法及びNo			ビード上						母材表						母材裏					
			江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町	江戸川		七ヶ宿	奈良俣		大町
鋼種	測定期間	測定方法	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5	1	2	3	4	6	5
SUS316LD 浸漬酸洗	初期		15	-64	-139	-102	-111	-1	15	-64	-138	-103	-112	-0	30	-45	-143	-99	-101	-3
	3ヶ月後	付着物あり		494	344		332			495	347		333	336		497	346		330	336
		付着物除去		488	311		326	336												
	1年後	付着物あり	54	435	277	276	298	428	55	437	280	277	302	428	54	437	274	281	297	430
		付着物除去	31	421		281	309	425	33	422	229	285	309	426	35	424	232			421
	2年後	付着物あり	241		482		339	454	241		480		339	455	237		302		337	448
		付着物除去	-28		282		329	429	27		282		331	428	-22		295		334	431
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		
SUS329J4LD 浸漬酸洗	初期		-94	-91	-161	-154 -140	27	-84	-94	-91	-161	-153 -133	26	-82	-82	-65	-165	-145	31	-89
	3ヶ月後	付着物あり		499	296		330			499	301		330	330		502	299		322	322
		付着物除去		451	220		323	328												
	1年後	付着物あり	417	327	268	289	294	395	418	327	271	290	298	392	419	329	280	292	295	394
		付着物除去	417			292	305	393	418		222	292	301	392	418	328	221			387
	2年後	付着物あり	-155		437		362	440	-155		434		362	441	-151		252		356	437
		付着物除去	-194		224		356	419	-194		224		357	415	168		239		356	424
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		
SM400B	初期								-435	-443	-309	-322	-377	-379	-351	-355	-296	-319	-333	-362
	3ヶ月後	付着物あり								-656	-460		-521	-618		-699	-477		-499	-601
		付着物除去											-500						-506	
	1年後	付着物あり							-673	-680	-370	-605	-565	-511	-653	-664	-335	-520	-514	-523
		付着物除去							-669	-675	-350	-500	-550	-509	-659	-640				-523
	2年後	付着物あり								-626	-357		-500	-488	-605		-407		-502	-500
		付着物除去								-634	-344		-504	-495	-628		-378		-528	-484
	3年後	付着物あり																		
		付着物除去																		

(mV vs SCE)

現地測定結果

測定日	97.7.18	97.7.10	97.7.17	97.7.11	
気温	32.7	19.8	17.6	24.8	(℃)
水温	26.4	21.4	16.0	21.2	(℃)
pH	8.9	7.2	8.4	8.2	
導電率	282.0	64.8	74.0	62.5	(μS)
溶存酸素					
酸化還元電位					
場所	江戸川	奈良俣	大町	七ヶ宿	

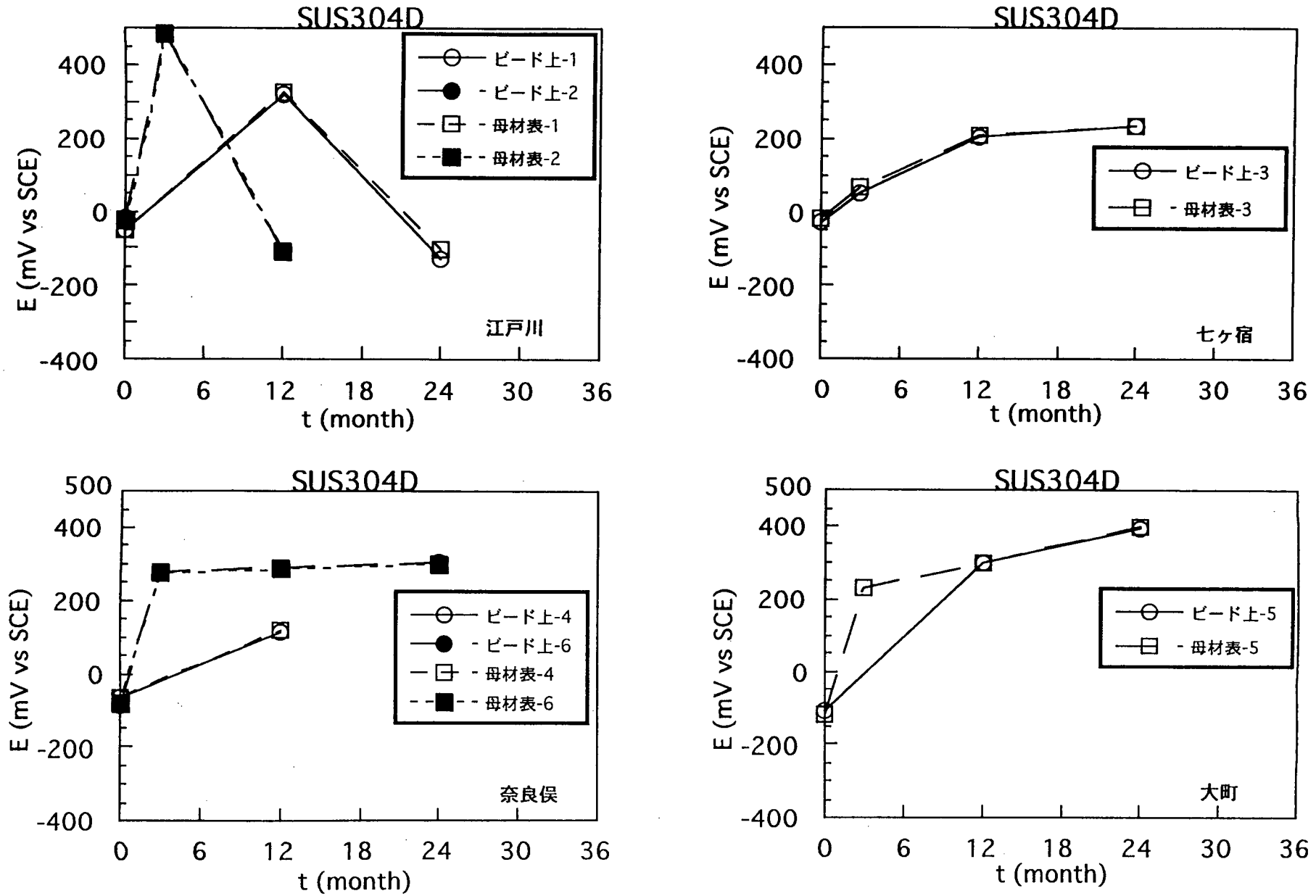
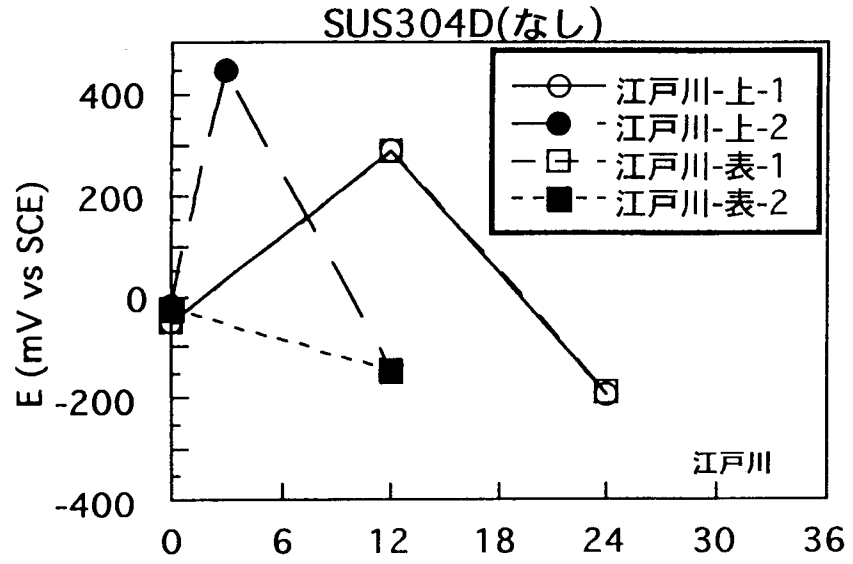
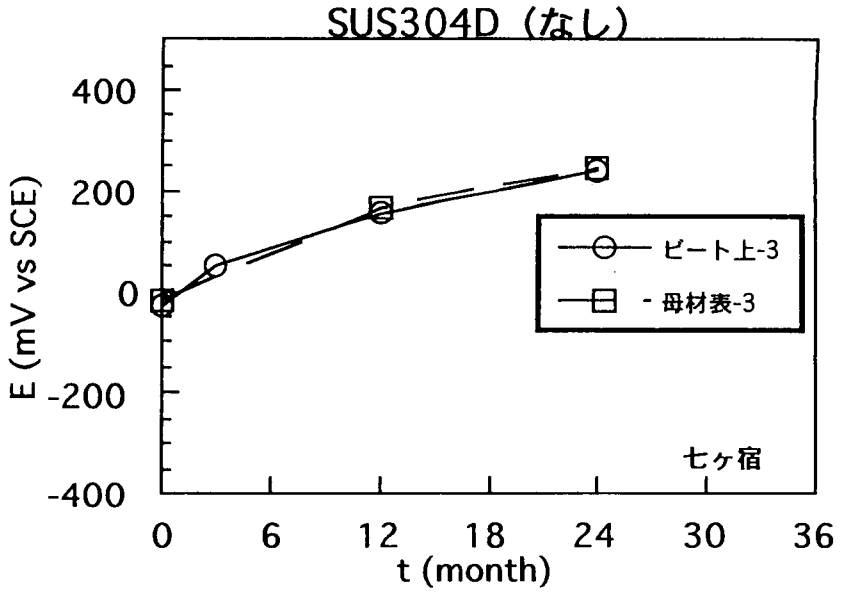
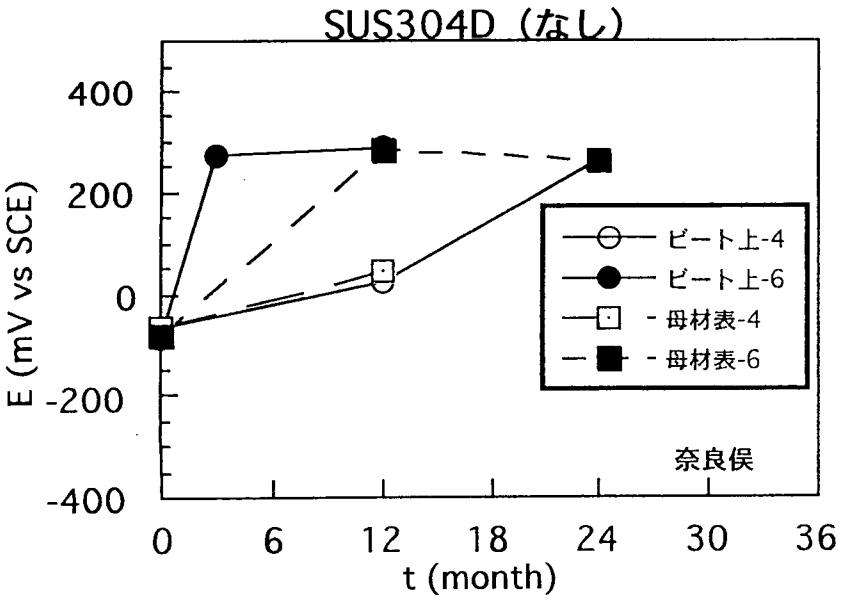


図 4.5.1　　ＳＵＳ304Ｄ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）







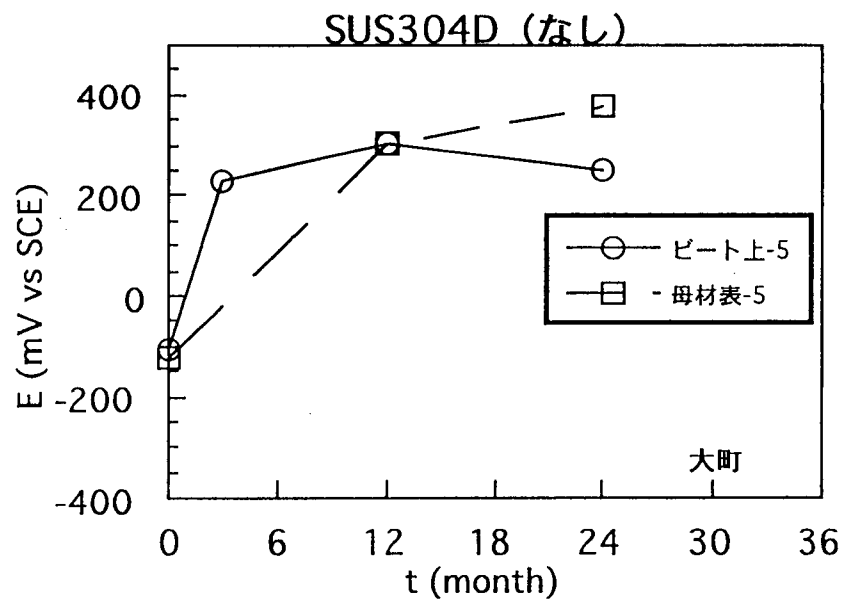


図4.5.2　　ＳＵＳ304Ｄ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）

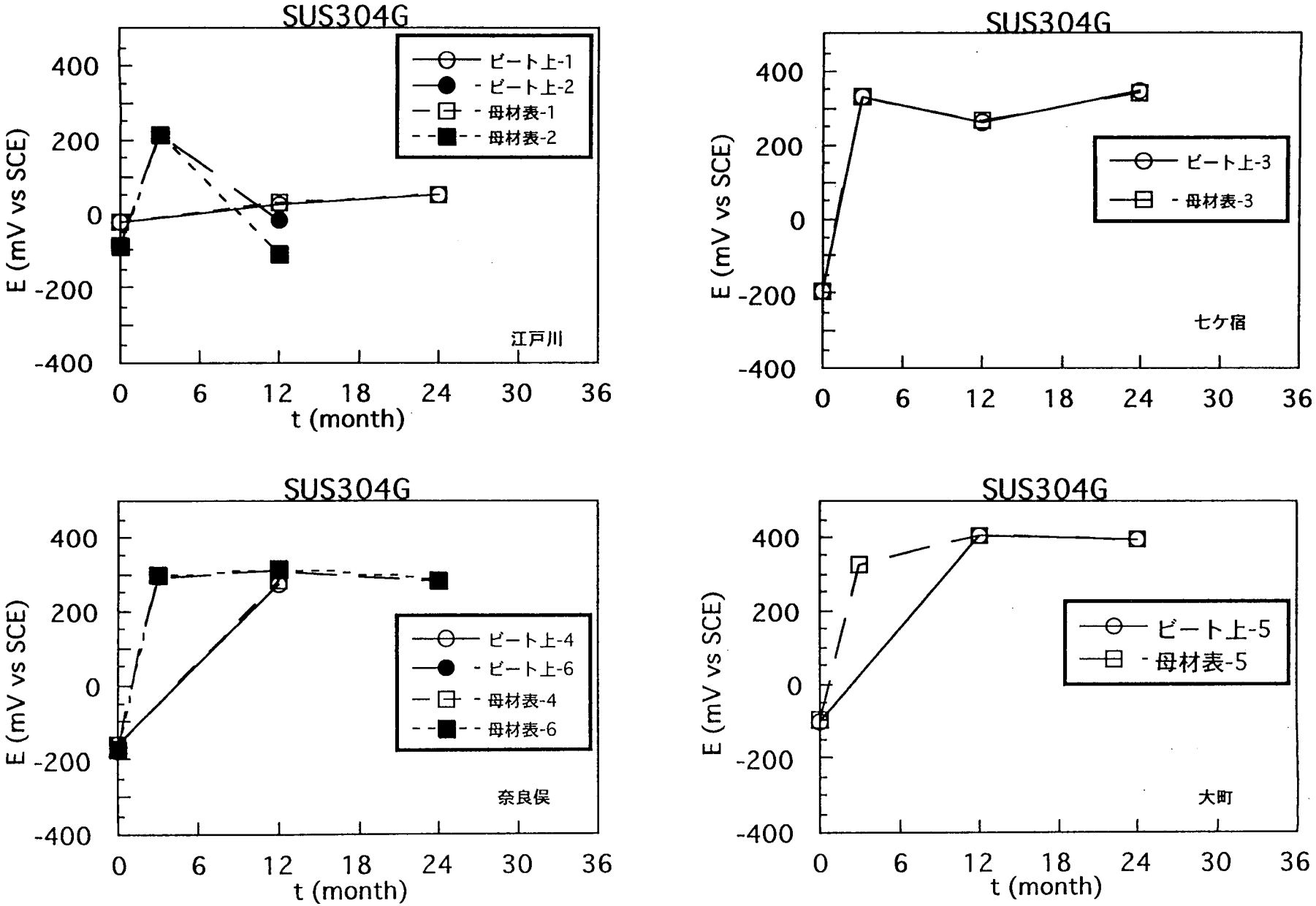


図4.5.3　　ＳＵＳ304G（グラインダー）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）

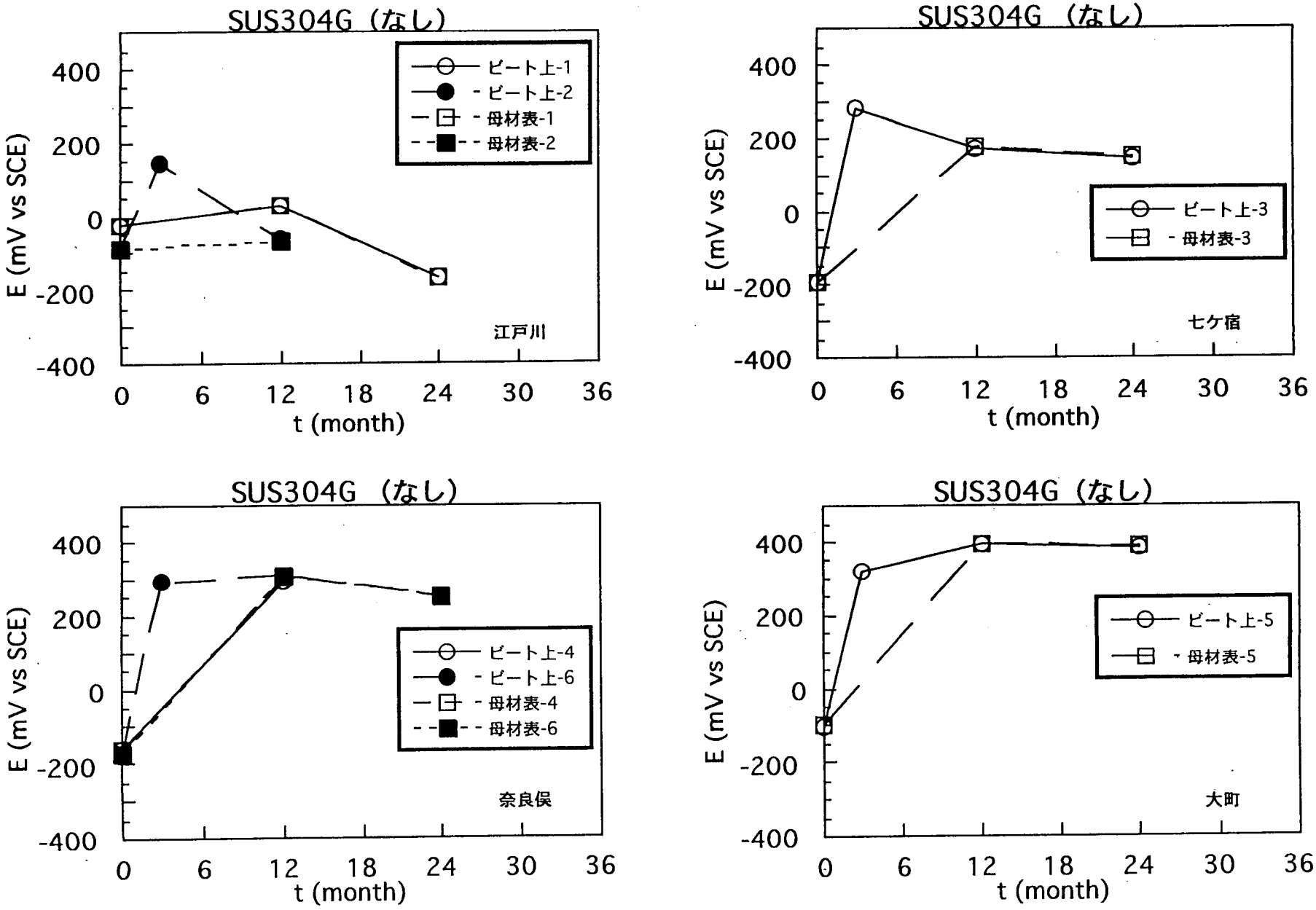


図 4.5.4　ＳＵＳ304G（グラインダー）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）

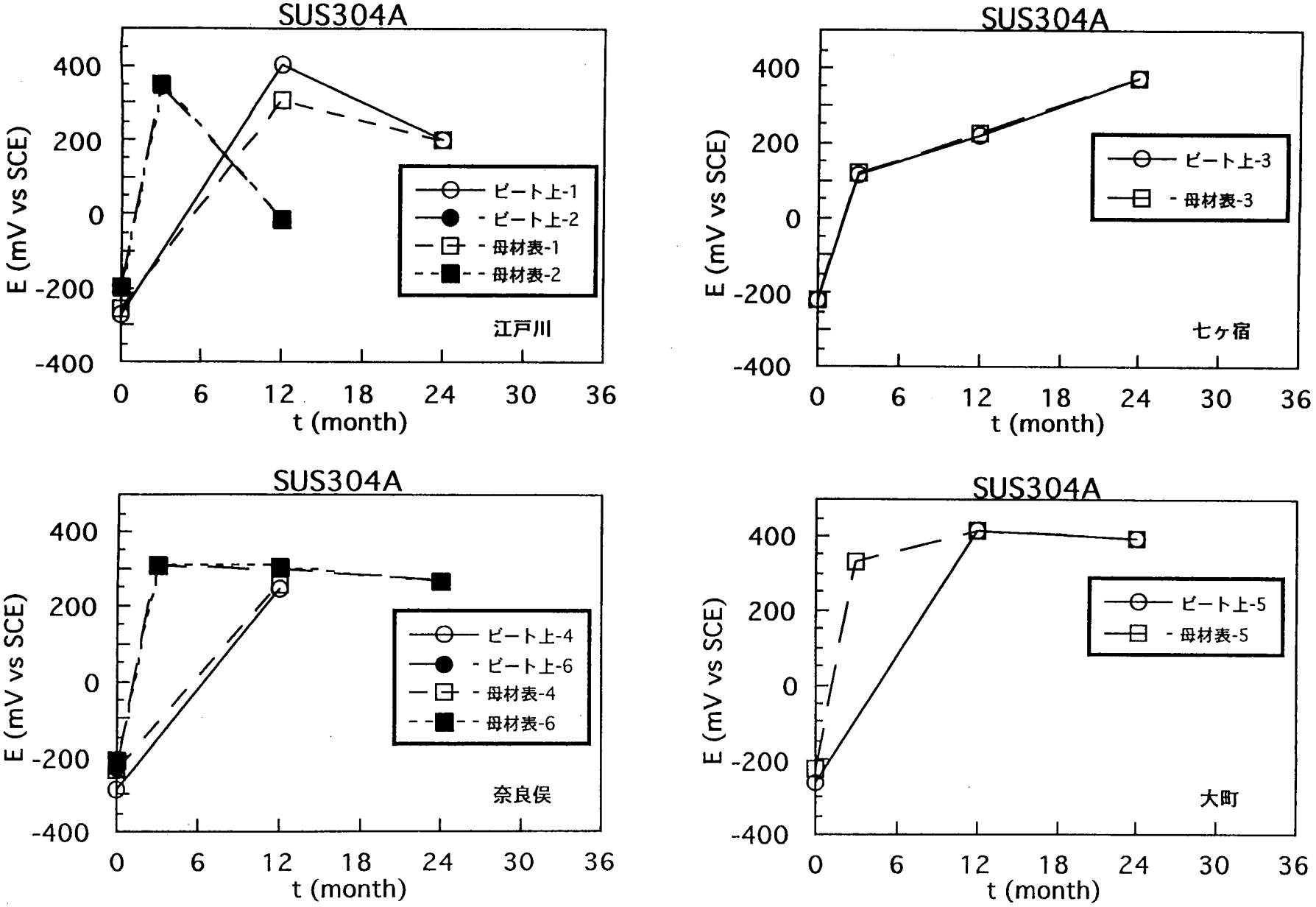
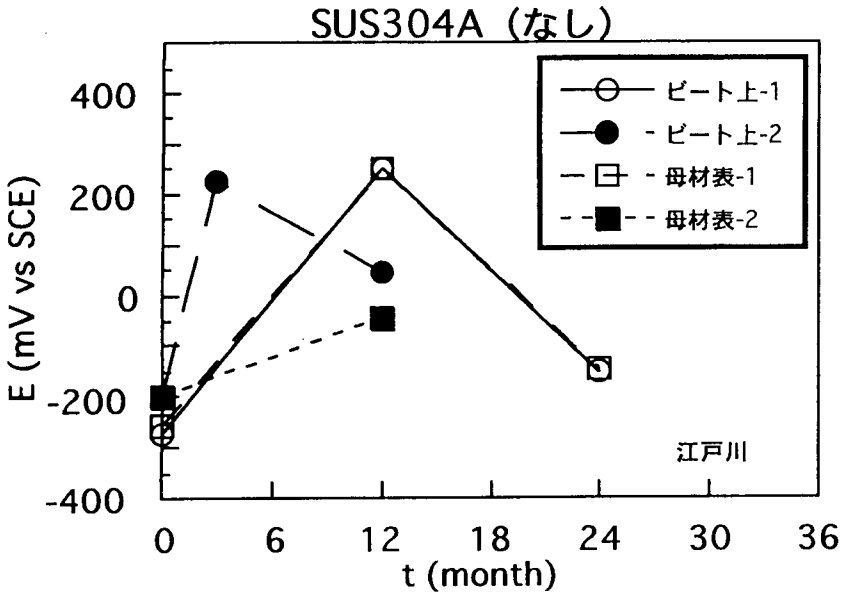
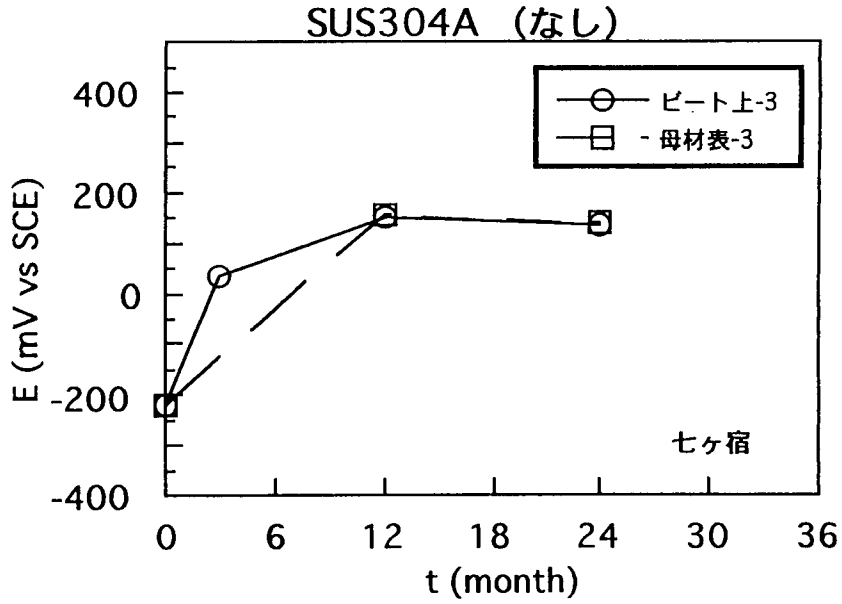
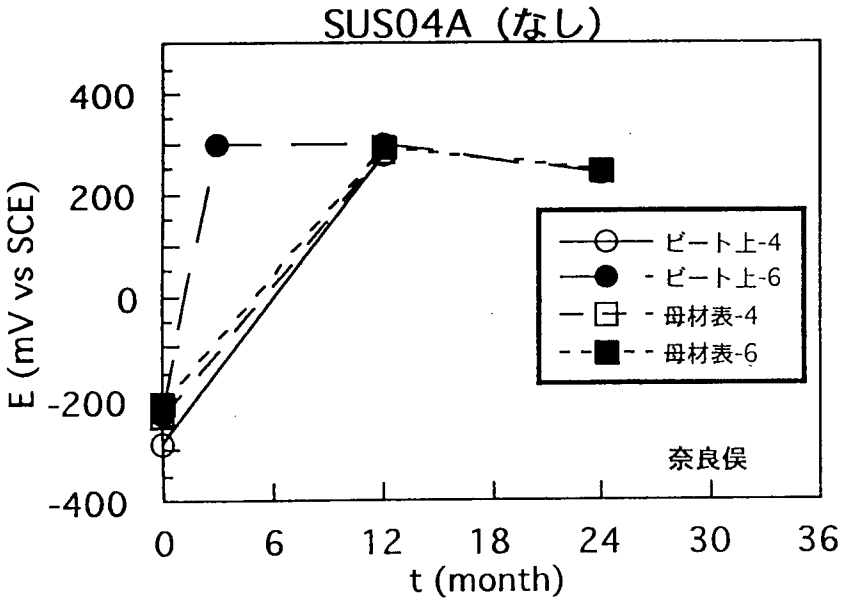


図 4.5.5　　ＳＵＳ304Ａ（黒皮付）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）







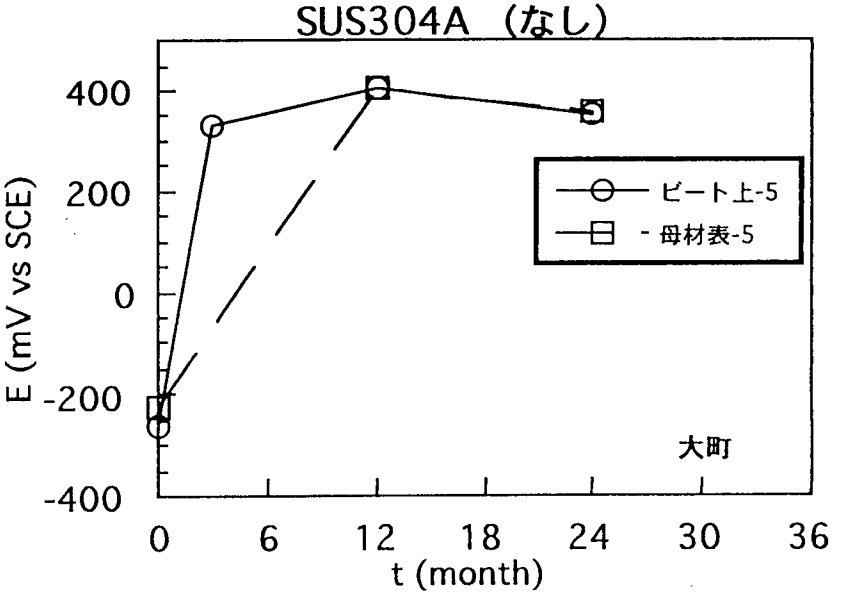
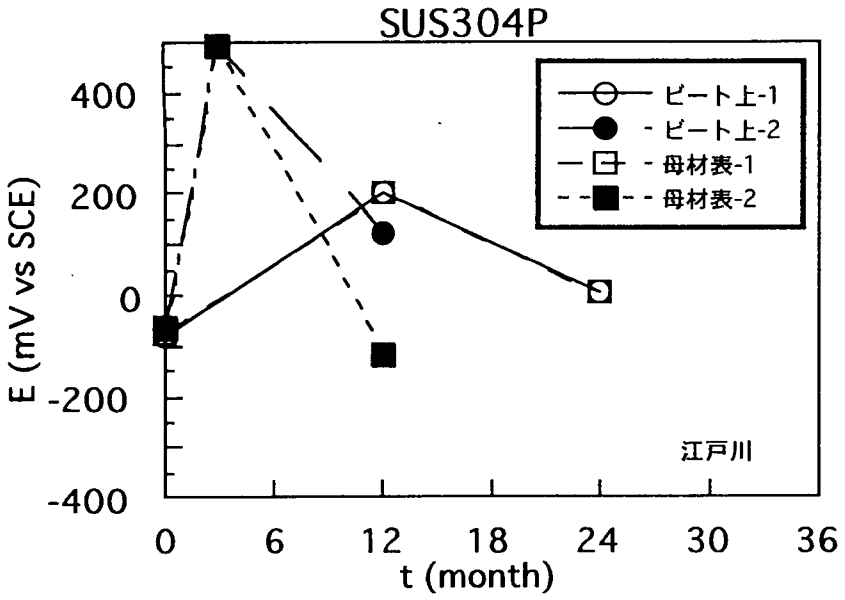
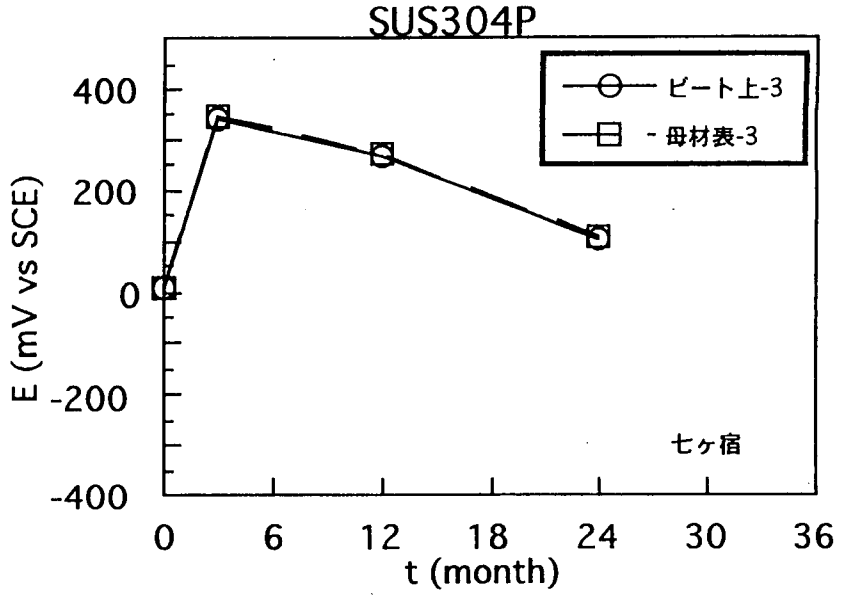
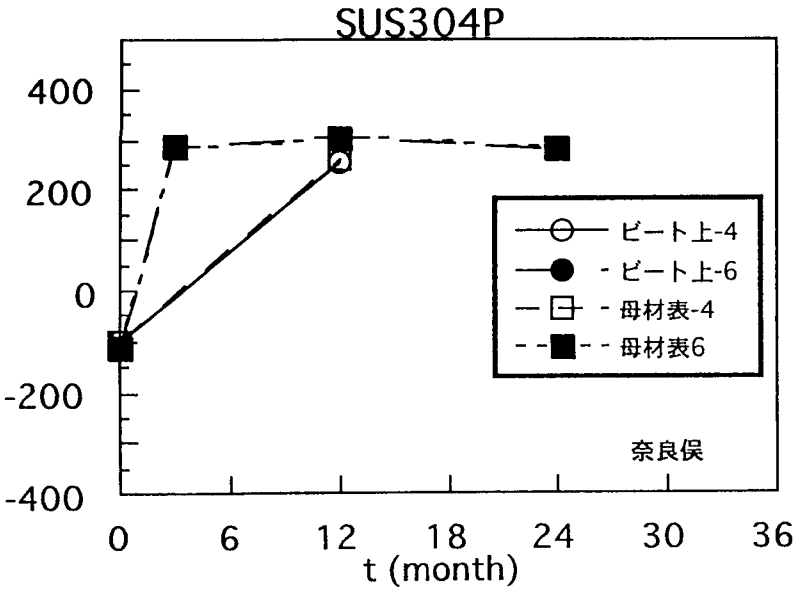


図4.5.6　ＳＵＳ304Ａ（黒皮付）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）







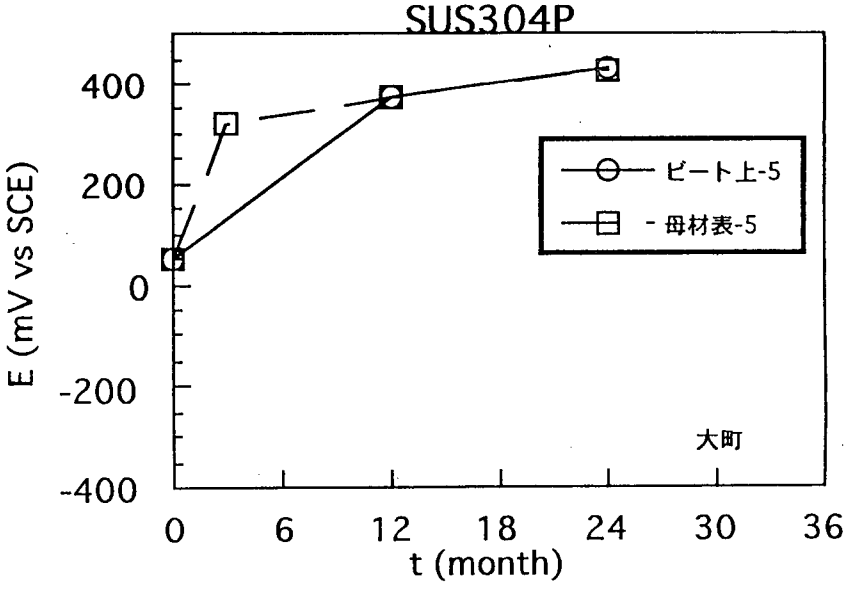


図 4.5.7　　ＳＵＳ304Ｐ（ペースト酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）

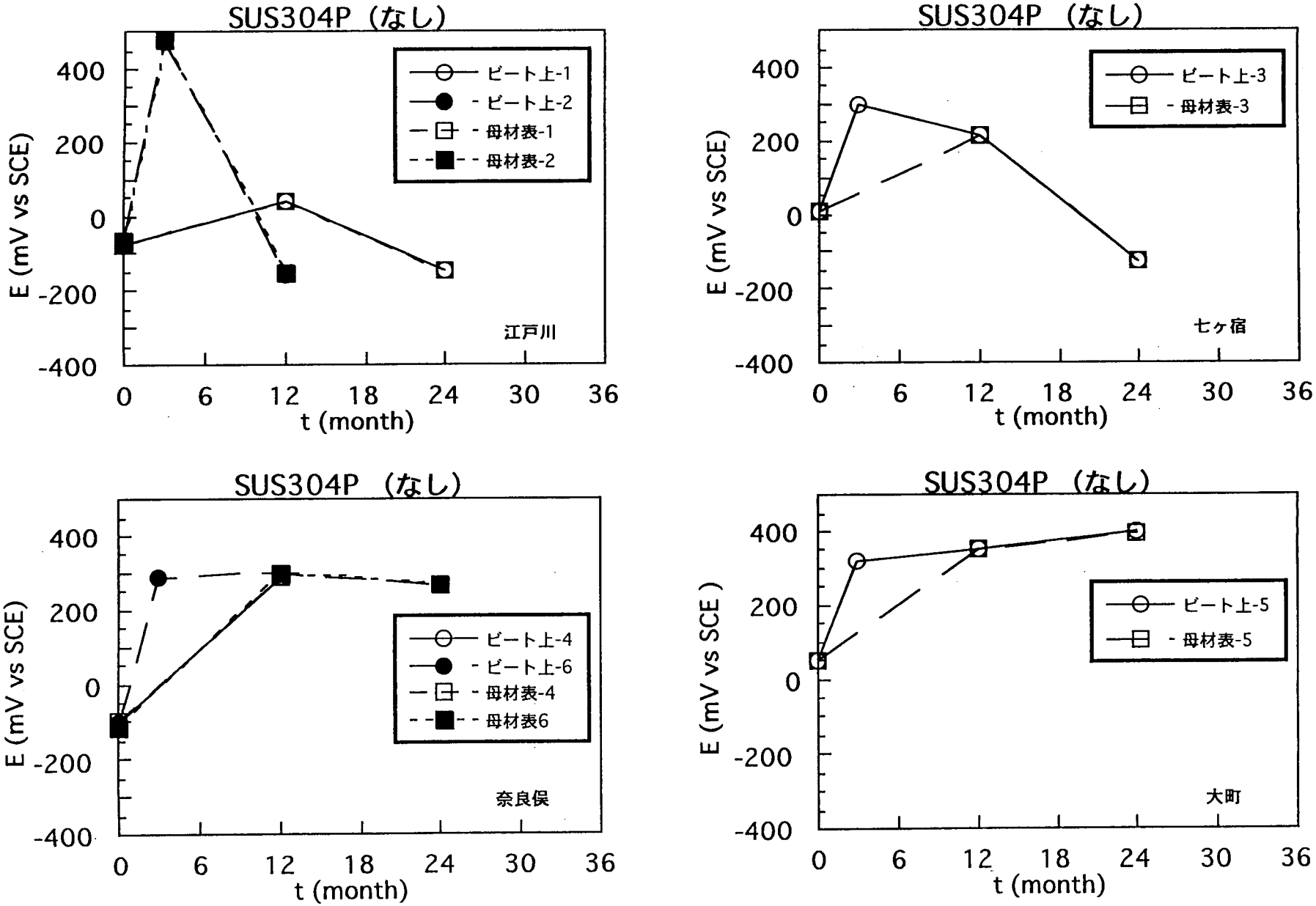


図4.5.8　　ＳＵＳ304Ｐ（ペースト酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）

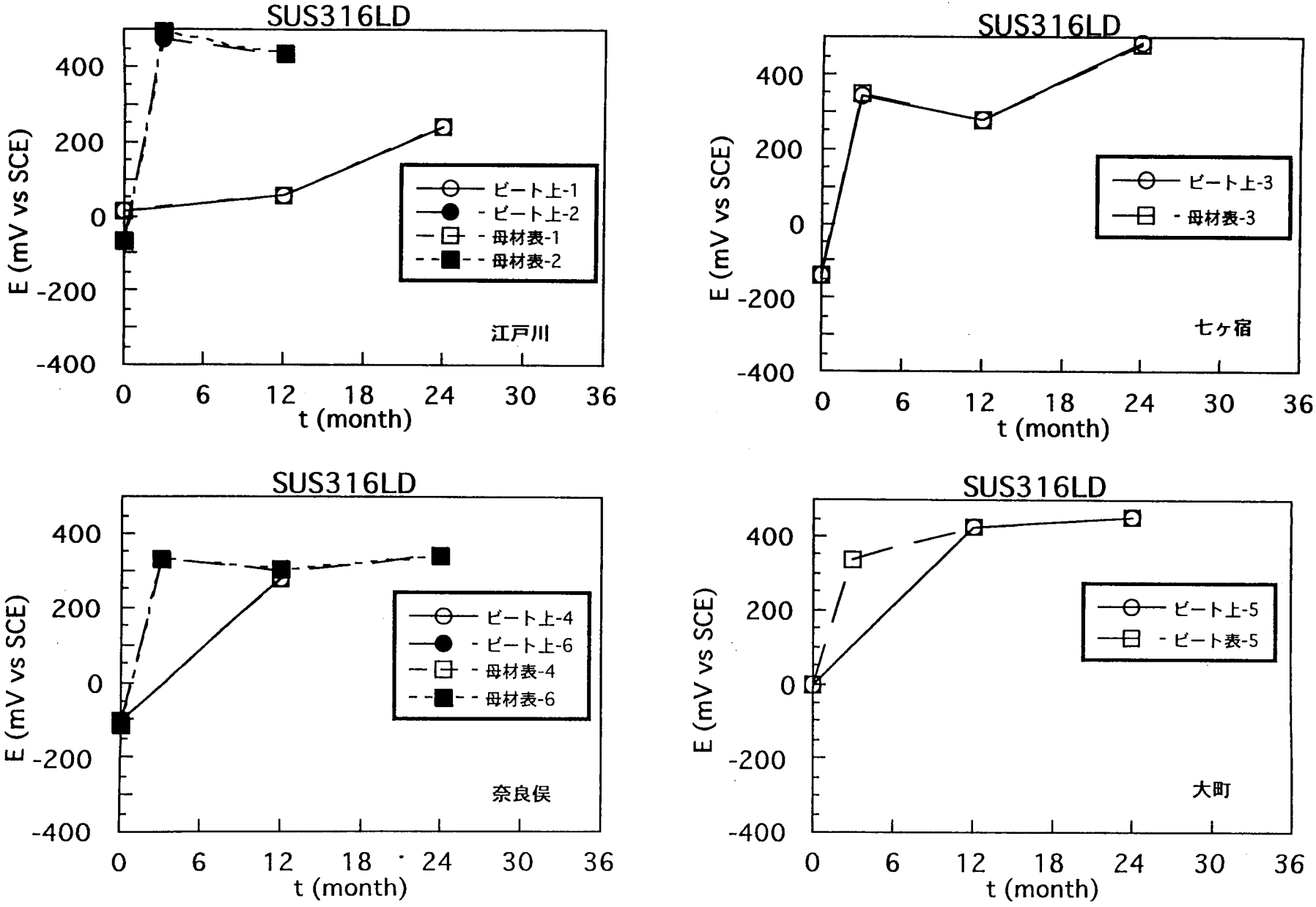


図4.5.9　ＳＵＳ316ＬＤ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）

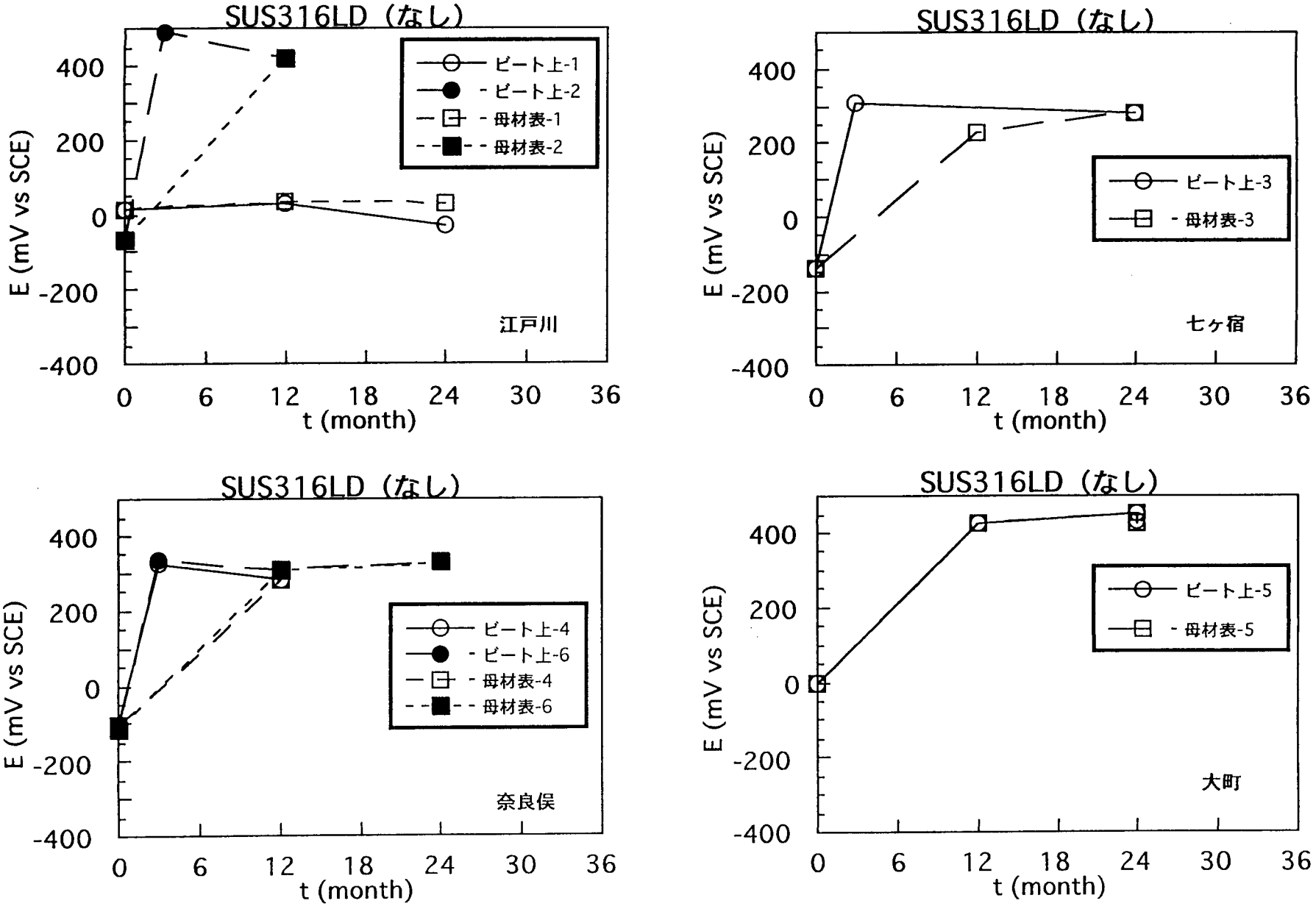
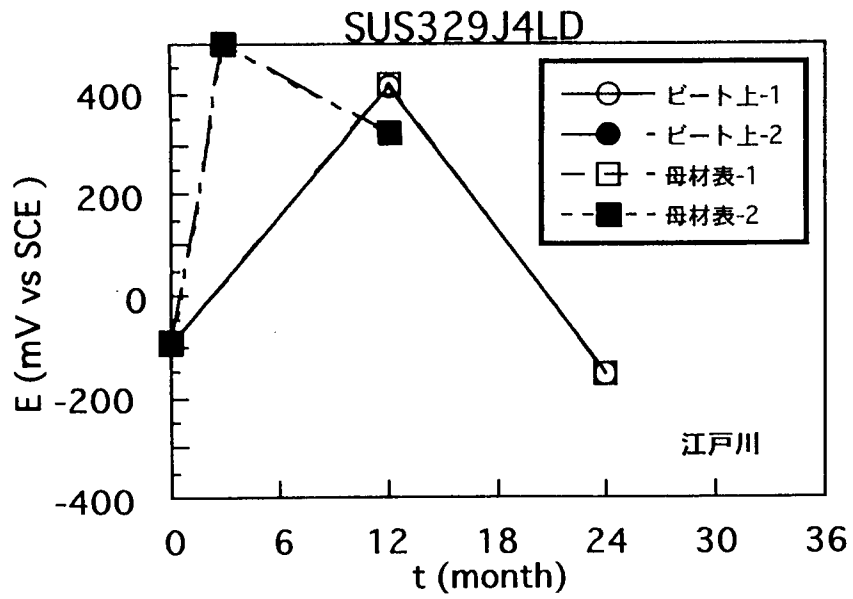
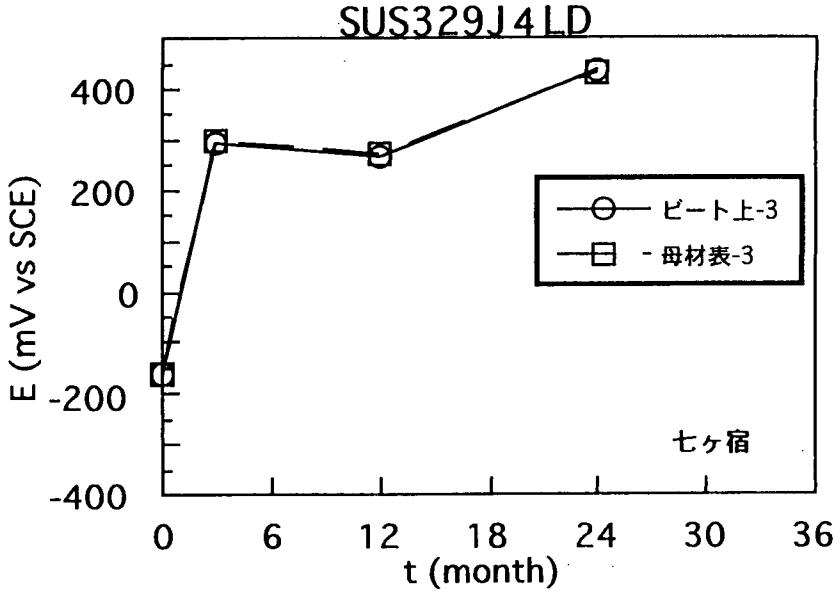
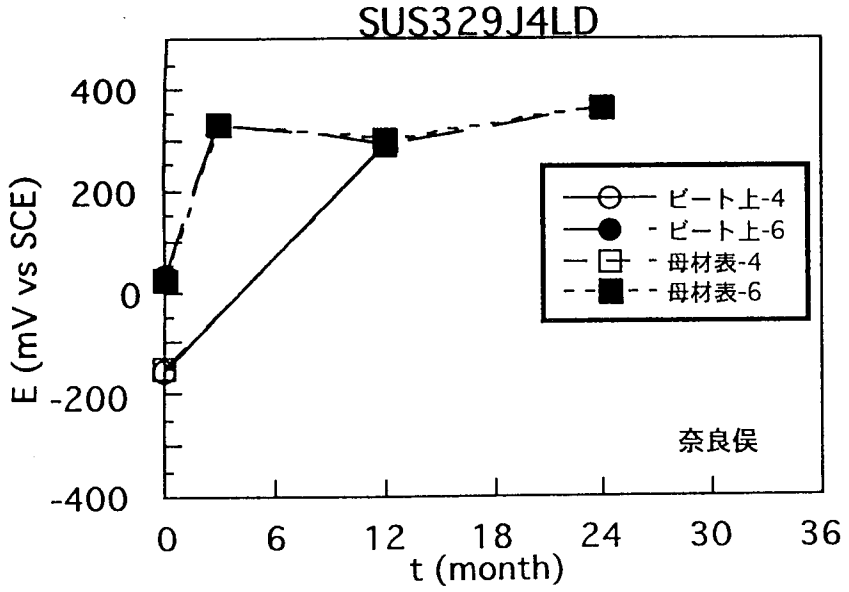


図 4.5.10　ＳＵＳ316ＬＤ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）







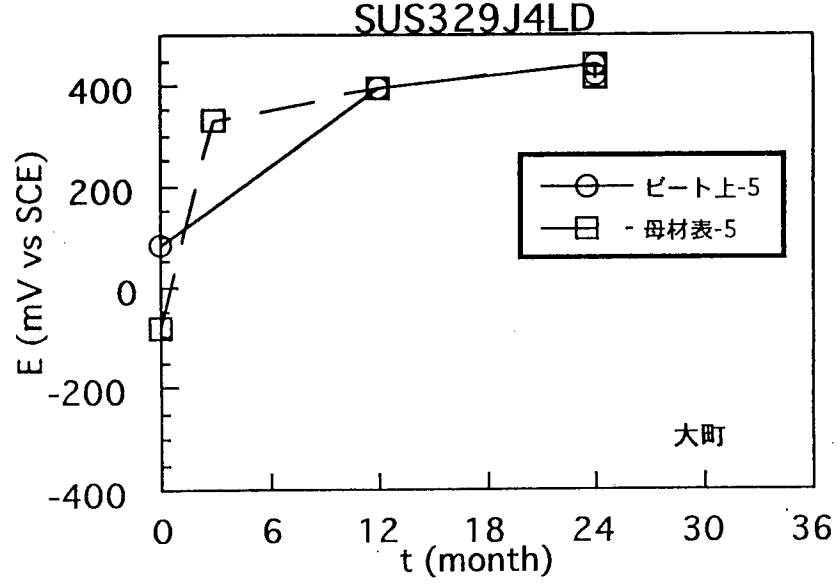


図 4.5.11　ＳＵＳ329J4ＬＤ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）

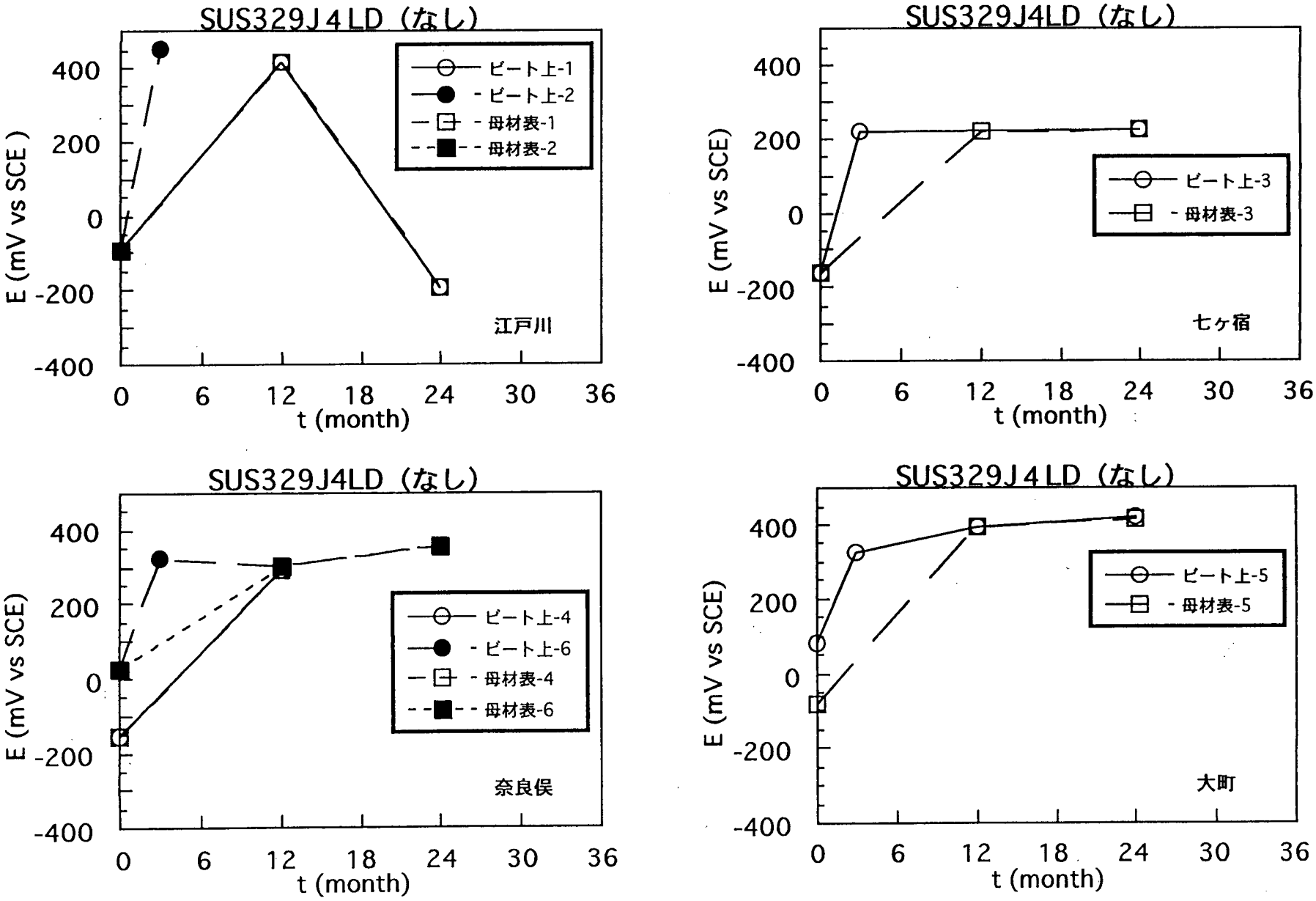
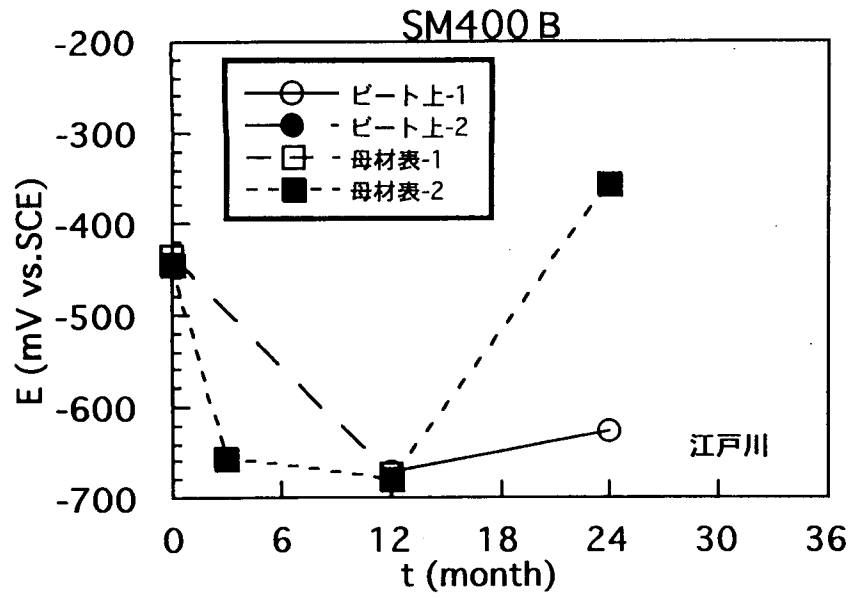
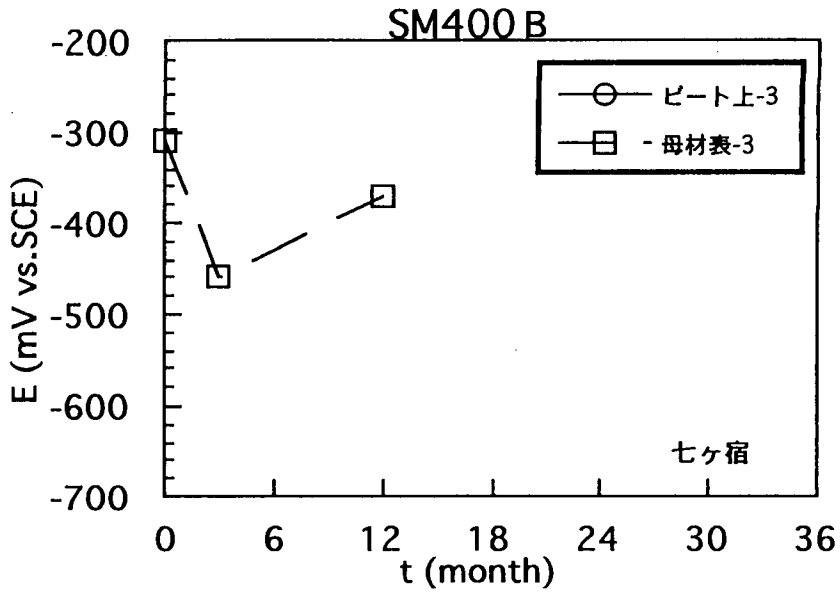
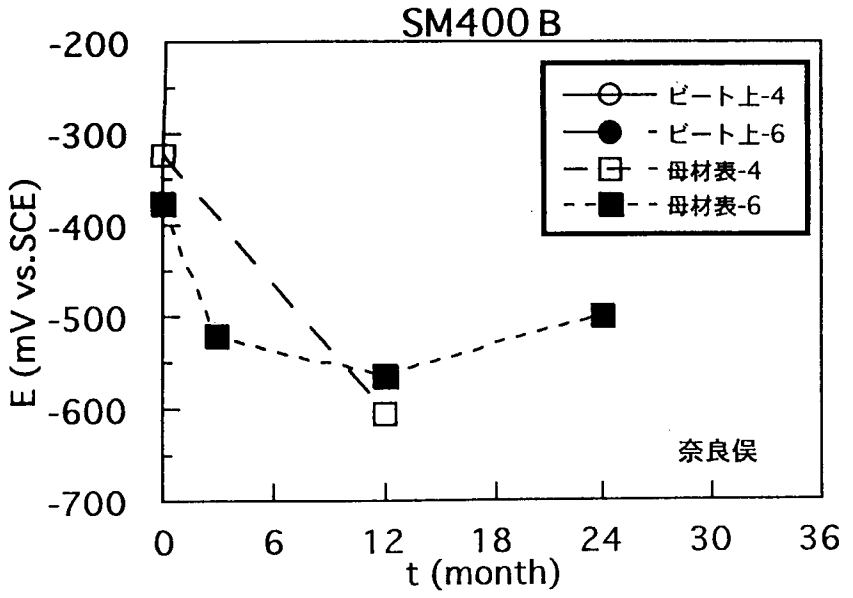


図 4.5.12　ＳＵＳ329J4ＬＤ（浸漬酸洗い）試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）







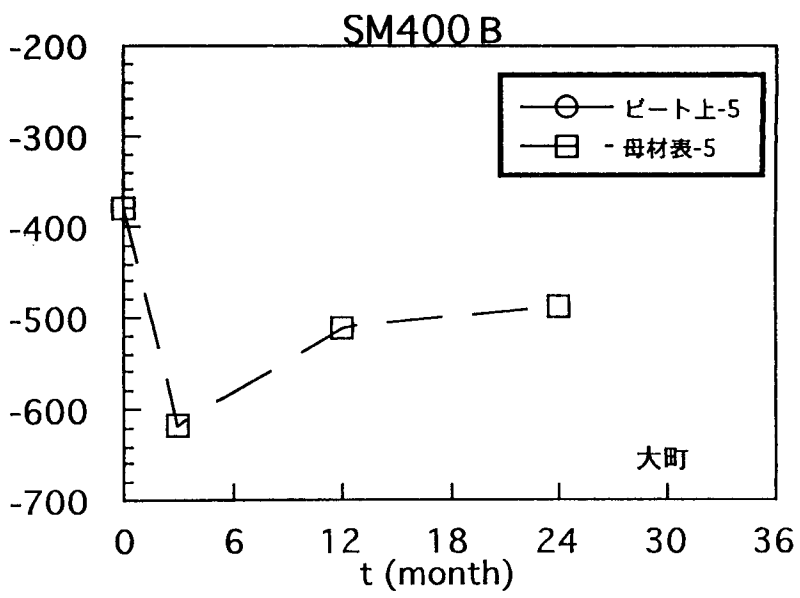


図 4.5.13　ＳＭ４００Ｂ試験片電位測定結果
（試験片に付着物がある場合）

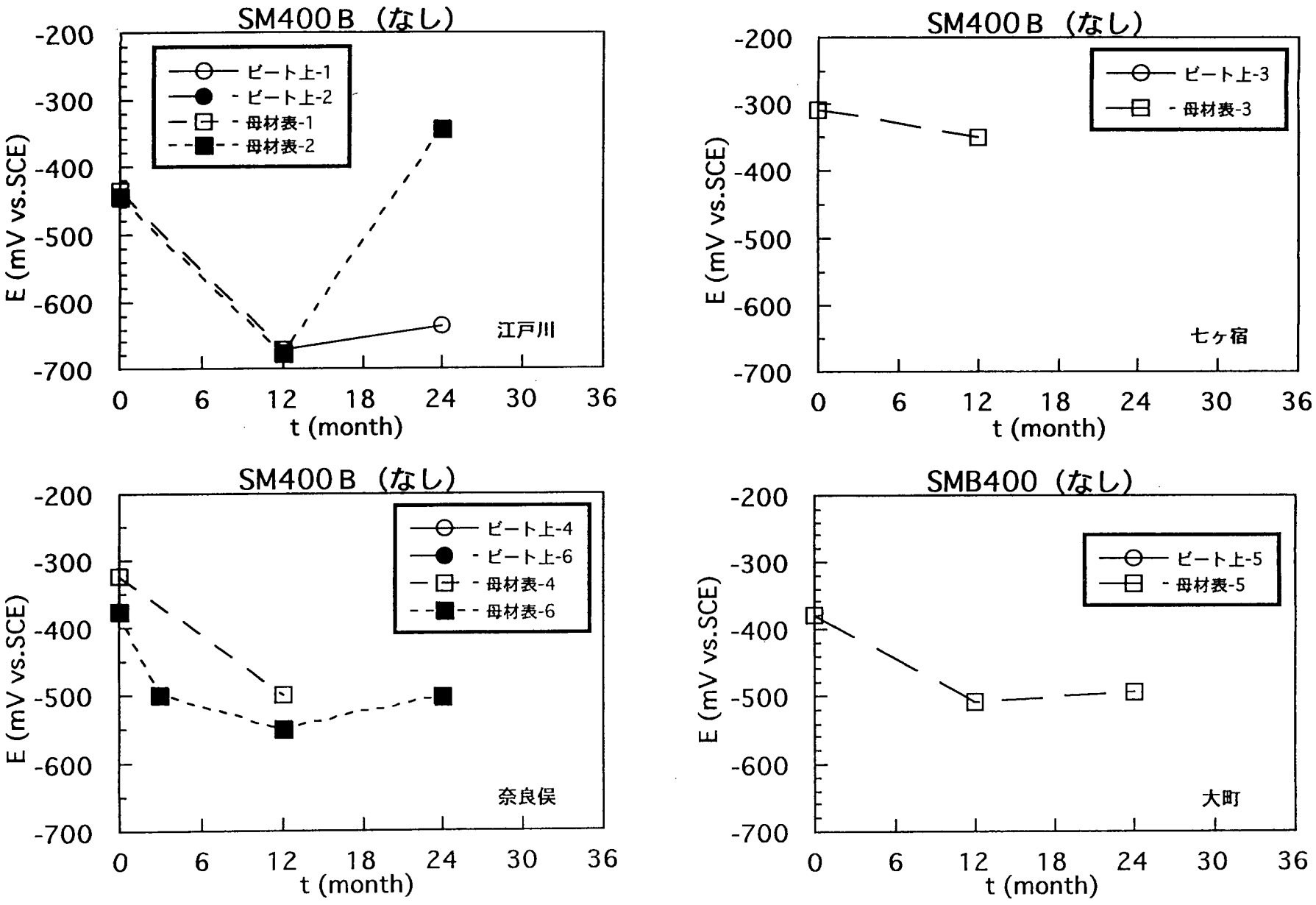


図 4.5.14　ＳＭ４００Ｂ試験片電位測定結果
（試験片付着物を除去した場合）

江戸川暴露試験片の電位は、１年後に比べて２年後では卑化しており、他の暴露場所の電位よりも卑な電位を示している。

江戸川の普通鋼の電位は-600mVと他の暴露場所の-300～-500mVより卑な値を示している。

４．５．３水質調査結果

暴露場所ごとの水質調査結果を表4.5.2 に示す。

江戸川の電導度，Na^{+}，Ca^{2+}，Mn^{2+}，Cl^{-}，SO_4^{2-}の濃度が他の暴露場所より高い値を示している。また、硫酸塩還元菌数も多いのは SO_4^{2-}が他の暴露場所より高いことと相関していると思われる。しかしながら、４箇所暴露場所の水質は特別異常な値ではなく正常であるといえる。

４．６まとめ

環境の異なる４箇所の暴露場所において、鋼種（SUS304,SUS316L,SUS329J4L),表面処理方法（溶接のままの黒皮，酸洗いの方法，グラインダー処理）が異なる試験片の暴露２値後の調査の結果、いずれも顕著な差異は認められていない。

表 4.5.2　水 質 調 査 結 果

	江　戸　川　河口			七　ケ　宿　ダム湖			奈　良　俣　ダム湖			大　　町　ダム湖		
	3 ヶ月後	1 年後	2年後	3ヶ月後	1年後	2年後	3ヶ月後	1年後	2年後	3ヶ月後	1年後	2年後
水温　(℃)	15.9	34.1	26.4	15.9	23.3	21.2	14.0	18.1	21.4	15.8	32.0	16.0
pH	7.70	8.7	8.9	7.12	7.92	8.2	6.5	8.2	7.2	7.92	8.03	8.4
電導度(μs/㎝)	296	252	270	72.1	61.7	66	35.8	26.2	29	102.5	56.9	56
酸化還元電位　(mV)	230	196.9	−	155	181	−	122	193	−	247	184	−
SRB　(cell/100ml)	4300	4300	23000	200	91	30以下	91	36	30 以下	210	30以下	36
従属栄養細菌　(cell/100ml)	2200	46000	240000	−	11000	4100	−	4400	3000	−	280	680
Na^{+}　(ppm)	15	14	17	4.2	3.8	3.8	2.0	1.6	1.9	5.8	2.8	3.2
Ca^{2+}　(ppm)	24	19	22	7.6	3.8	5.1	1.9	0.24	1.4	9.9	6.2	6.0
Mn^{2+}　(ppm)	0.01以下	0.08	0.07	0.02	0.01以下	0.01以下	0.02	0.01	0.01以下	0.04	0.05	0.06
Cl^{-}　(ppm)	19	20	22	2.3	3.2	3.7	1.1	1.1	1.2	6.7	2.3	3.2
$SO4^{2-}$　(ppm)	32	34	28	5.7	6.4	7.1	1.6	1.2	1.4	11	6.9	7.8
DO　(ppm)	7.8	6.2	9.0	10.8	7.9	7.9	10.7	7.9	7.7	9,4	8.4	8.8

あとがき

ダム施設の鋼構造物の防食に耐食材料としてステンレス材料を適切に使用するために室内試験を行ない、ステンレス材料の腐食挙動の一つであるすき間腐食の実態を明らかにした。また、暴露試験によって、実環境におけるステンレス材料の異種金属接触腐食，すき間腐食等の腐食挙動が明らかになりつつある。

今後、暴露試験をさらに継続してステンレス材料の腐食挙動を解明して、ダム施設の維持管理を軽減するためのステンレス材料の適用方法を確立し、ダム放流設備へのステンレス材料適用マニュアル（案）を改訂する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたっては、河川・ダム施設の防食技術研究会各位に多大なご協力をいただきました。ここに深甚なる謝意を表します。

また、暴露試験調査に多大なご協力いただきました建設省東北地方建設局七ヶ宿ダム管理所，同関東地方建設局江戸川工事事務所江戸川河口出張所，同北陸地方建設局大町ダム管理所並びに水資源開発公団奈良俣ダム管理所の関係各位に感謝の意を表します。

河川・ダム施設の防食技術研究会

委員長	市川　慧	(財)国土開発技術研究センター研究第二部参与
副委員長	池田八郎	建設省東北地方建設局道路部機械課長
委　員	阿部新治	建設省東北地方建設局道路部機械課課長補佐
	阿部　武	建設省関東地方建設局道路部機械課課長補佐
	明嵐政司	建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	木邑　正	（社）鋼材倶楽部土木専門委員会委員長
	花崎昌幸	（社）軽金属協会土木製品開発委員会主査
	戸村寿一	(株)ナカボーテック技術顧問
	平井陽一	石川島播磨重工業(株)技術研究所材料研究部部長代理
	土居一幸	新日本製鐵(株)海洋鉄構事業部部長代理
	平賀憲一	（社）日本塗料工業会
幹　事	守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員
	西崎　到	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

中途交代委員

副委員長	丹野光正	元建設省東北地方建設局道路部機械課長
	深堀哲男	元建設省東北地方建設局道路部機械課長
	山田仁一	前建設省東北地方建設局道路部機械課長
委　員	坂本浩行	前建設省土木研究所材料施工部化学研究室長
	奥山正之	元（社）日本塗料工業会

耐食金属材料ワーキンググループ

山下久男	新日本製鐵㈱建材開発技術部土木基礎建材技術グループマネジャー
吉田　健	同　ステンレス営業部厚板グループマネジャー
松岡和巳	同　技術開発本部鋼構造研究開発センター主任研究員
紀平　寛	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
松橋　亮	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
田中成人	日鉄防蝕㈱エンジニアリング事業部営業部次長
松田隆明	住友金属工業㈱厚板技術部次長
幸　英昭	同　総合技術研究所鋼管・鋼材研究部主任研究員
南　孝男	住友金属テクノロジー㈱受託研究事業部腐食防食チーム長
三上　聡	日本軽金属㈱景観エンジニアリング事業部設計技術担当部長
正路美房	住友軽金属工業㈱研究開発センター第六部自動車熱交材料開発主任研究員
大隅心兵	同　アーバンエンジニアリング事業部設計技術部副課長
花崎昌幸	（社）軽金属協会土木製品開発委員会主査
吉野朗宣	㈱ナカボーテック取締役
望月紀保	ナカボーテック㈱技術開発研究所研究室室長
平井陽一	石川島播磨重工業㈱技術研究所材料研究部部長代理
赤嶺健一	同　技術研究所材料研究部主任
古城一郎	同　鉄構事業部設計部課長代理
守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員

中途交代委員

梅野正紀	新日本製鐵㈱八幡製鐵所ステンレス厚板技術・管理グループリーダー
田所　裕	同　八幡技術研究部主任研究員
中村　厚	元住友金属工業㈱専門部長
白水　司	㈱ナカボーテック技術開発研究所開発室室長
池田　洋	住友軽金属工業㈱研究開発センター第六部担当次長
鎌田久美子	元石川島播磨重工業㈱技術研究所材料研究部研究員
小林徹也	前石川島播磨重工業㈱鉄構事業部設計部課長補佐
寺辻　修	同　同

ステンレス材料小ワーキンググループ

山下久男	新日本製鐵㈱建材開発技術部土木基礎建材技術グループマネジャー
吉田　健	同　ステンレス営業部厚板グループマネジャー
松岡和巳	同　技術開発本部鋼構造研究開発センター主任研究員
紀平　寛	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
松橋　亮	同　技術開発本部鉄鋼研究所第一研究部主任研究員
田中成人	日鉄防蝕㈱エンジニアリング事業部営業部次長
松田隆明	住友金属工業㈱厚板技術部次長
幸　英昭	同　総合技術研究所鋼管・鋼材研究部主任研究員
天谷　尚	同　総合技術研究所鋼管・鋼材研究部副主任研究員
南　孝男	住友金属テクノロジー㈱受託研究事業部腐食防食チーム長
望月紀保	ナカボーテック㈱技術開発研究所研究室室長
平井陽一	石川島播磨重工業㈱技術研究所材料研究部部長代理
川嶋　厳	同　技術研究所接合研究部課長
赤嶺健一	同　技術研究所材料研究部主任
君島孝尚	同　技術研究所機械要素研究部課長
羽石　正	同　技術研究所実験技術部研究員
守屋　進	建設省土木研究所材料施工部化学研究室主任研究員