

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

(飛沫部および干満部における鋼構造物の
防食技術に関する研究 第1分科会)

— 暴露期間10年後の研究成果 —

平成7年12月

建設省土木研究所材料施工部化学研究室
社 団 法 人 鋼 材 倶 楽 部

Copyright ©1995 by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, 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。

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

(飛沫部および干満部における鋼構造物の
防食技術に関する研究 第1分科会)

—暴露期間10年経過後までの研究結果—

Cooperative Research Report on Corrosion Protection Technologies for
Steel Structures in Splash and Tidal Zone

建設省土木研究所

材料施工部 新材料開発研究官 片 脇 清

〃 化学研究室 室 長 坂 本 浩 行

〃 〃 研究員 佐々木 厳

社団法人 鋼材倶楽部

共同研究第1分科会

要 旨

本報告書は駿河湾の海洋技術総合研究施設を利用して行われた「飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究」について、その前期約10年間の試験結果をまとめたものである。

試験目的は「高耐食性金属被覆法による長期耐用」、「耐海水鋼の有効利用」、「新規塗覆装材料および工法の実使用」の検証などで、それぞれ期待寿命内でメンテナンスフリー化やトータルコストの軽減化などの可能性を確認することである。試験方法はパイプ状または板状の試験材を固定して曝露し、あるいは施設の一部に塗覆装を施工して試験対象とし、経年的に観察、測定を行った。また、試験材の一部を計画的に回収し、破壊試験を含む詳細調査を行った。

試験結果を要約すると、ステンレス鋼の耐食性および電気防食によるすきま腐食防止、耐海水鋼の耐食性、厚膜型重防食塗覆装の耐久性など実環境における使用に関する多くの貴重な成果を得た。

キーワード：海洋構造物、飛沫帯、干満帯、防食技術、曝露試験、高耐食性金属被覆、耐海水鋼、塗装防食、被覆防食、電気防食、隙間腐食

飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究

まえがき

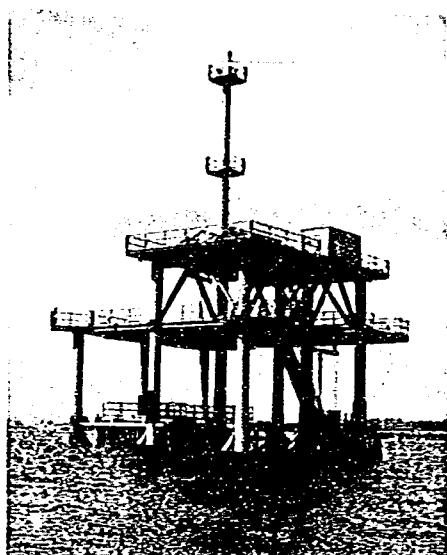
わが国は周囲を海に囲まれ長大な海岸線を有するので、沿岸や沖合の海洋空間を有効に利用することは極めて重要な課題である。沿岸海域に建設される各種の鋼構造物は、近年その多面的な目的に応じ、種類、規模、形状がますます多様化、大型化、複雑化し、しかも50年、100年という長期耐用が期待され、次代に引継ぐべき社会資産として位置づけられている。しかし、この海洋や港湾は鋼構造物にとって極めて厳しい腐食環境で、放置すれば早期の腐食劣化を免れない。

これらの腐食環境では、とくに飛沫帯および干満帯は最も腐食条件の厳しい領域で、この部位の鋼材に対するより耐久性のある防食法および効果的な補修法の確立は長い間の懸案で、優れた材料や工法の開発とその検証が緊急課題とされていた。

科学技術庁所管の科学技術振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」において、建設者土木研究所は実施課題「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」を設定し、さらに分担課題として「飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究」を設定して、昭和59年（1984年）から5ヵ年計画で研究を開始した。この研究は5ヵ年計画終了後も引続き土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(財)プレストレスト・コンクリート建設業協会、財土木研究センターとの共同研究として、他の民間機関の参加も得て継続された。

曝露試験場所は駿河湾内で、土木研究所が設置した「海洋技術総合研究施設」を使用して行った。

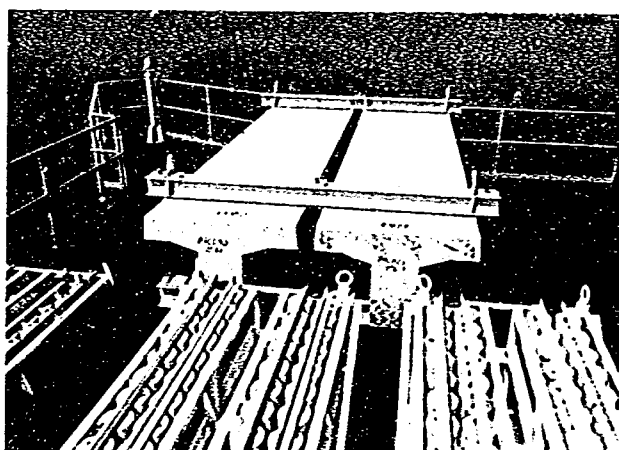
本研究報告書は、昭和59年（1984年）の曝露試験開始から10年経過後までの成果をまとめたものである。



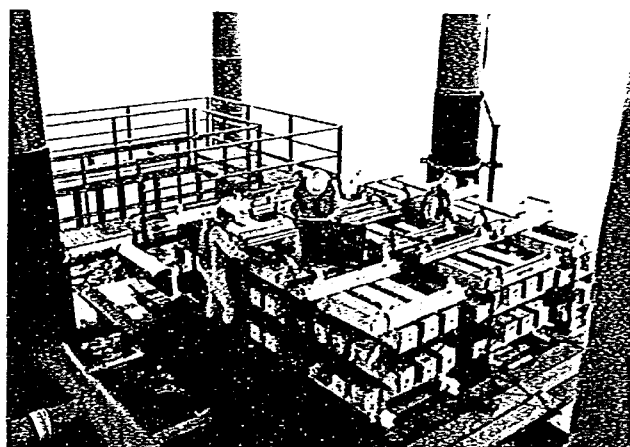
海洋技術総合研究施設の全景



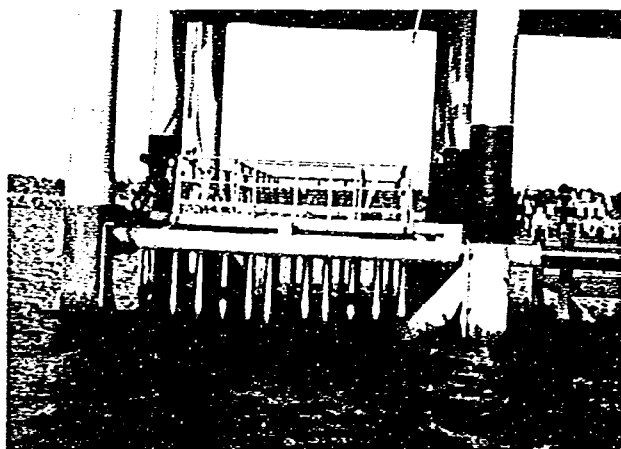
第一デッキ（長期防錆型塗装）



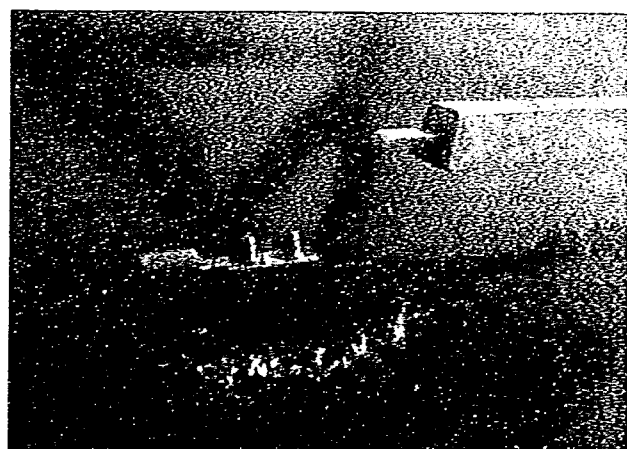
第二デッキ（コンクリート中鋼材の防食）



第三デッキ（塗覆装、コンクリート中鋼材の防食）



飛沫・干満部（塗覆装、高耐蝕性金属被覆）



海中部（アルミニウム合金陽極）

飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究

(共同研究 第1分科会)

目 次

まえがき

調査記録

1. 研究目的	1
1. 1 研究目的	1
1. 2 飛沫帯、干満帯に関する防食技術の現状	1
1. 3 官民共同研究開始の経緯と進め方	3
2. 研究施設	10
2. 1 海洋技術総合研究施設の場所	10
2. 2 海洋技術総合研究施設の概要	10
2. 3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯	14
3. 研究テーマ	15
3. 1 研究テーマ1および研究テーマ2	15
3. 2 研究テーマ3	15
4. 試験方法	16
4. 1 試験場所および試験施設	16
4. 2 試験環境	16
4. 3 研究テーマ1および研究テーマ2	17
4. 3. 1 第1次試験材	17
(1) 研究テーマ1	17
(2) 研究テーマ2	17
4. 3. 2 第2次試験材	23
(1) 研究テーマ1	23
(2) 研究テーマ2	24
4. 3. 3 試験材供試位置	28

4. 3. 4	試験期間	28
4. 3. 5	調査項目および調査方法	28
4. 4	研究テーマ3の試験方法	34
4. 4. 1	第1次試験材	34
4. 4. 2	第2次試験材	37
4. 4. 3	試験材供試位置	40
4. 4. 4	試験期間	45
4. 4. 5	試験項目および調査方法	45
5.	試験材暴露および回収の経緯	51
5. 1	試験材の種類	51
5. 2	試験材の設置および回収	53
(1)	研究テーマ1および研究テーマ2	53
(2)	研究テーマ3	54
6.	調査結果および考察	62
6. 1	環境調査	62
6. 2	研究テーマ1	62
6. 2. 1	外観	62
6. 2. 2	生物付着状況	65
6. 2. 3	塗膜の膜厚、交流抵抗およびピンホール	65
6. 2. 4	回収試験材の詳細調査	68
6. 2. 5	ステンレス鋼の電気防食試験	95
6. 2. 6	まとめ	102
6. 3	研究テーマ2	104
6. 3. 1	外観	104
6. 3. 2	生物付着状況	104
6. 3. 3	塗膜の膜厚、交流抵抗およびピンホール	107
6. 3. 4	回収試験材の詳細調査	118
6. 3. 5	まとめ	146
6. 4	研究テーマ3	147
6. 4. 1	外観	147
6. 4. 2	生物付着状況	151
6. 4. 3	塗膜の膜厚、交流抵抗およびピンホール	151
6. 4. 4	付着力および素地面の状況	169

6. 4. 5	1990年度新規取付試験材の調査	173
6. 4. 6	1993年度新規取付試験材の調査	181
6. 4. 7	被覆の打診調査	185
6. 4. 8	まとめ	185
7.	総括	186
7. 1	試験内容の経過	186
7. 2	試験結果	189
7. 2. 1	1994年度調査結果	189
7. 2. 2	10年間の調査結果	192

あとがき

巻末付録

1	試験材の製作、施工担当会社	1
2	独自詳細調査	6
3	補修の記録（要旨）	39
4	研究発表記録（表題）	41

調 査 記 録

1. 研究目的

1.1 研究目的

海洋環境は一般に海上大気部、飛沫帯～干満帯、海中部および海底土中部に区分され、それぞれ特有の腐食要因があり、鋼材は特徴的な腐食状況を示す。このうち飛沫帯～干満帯部は、重要な腐食因子である酸素の十分な供給と塩分を含んだ海水の飛沫や没水・乾燥のくり返しがあって、最も腐食速度が大きい部位である。また、波浪や生物付着のために現場施工や保守・補修の困難な場合が多い。

以上のような問題を考えれば、海洋構造物に対する防食対策は、当初から防食付加価値を高めた耐食材料を使用すること、継続的に防食手段を付与すること、あるいは有効な補修システムを実施することなどが必要となる。

本研究はこれらの背景をふまえて、予めフィージビリティ・スタディを行って飛沫帯および干満帯の防食技術の現状と課題を明らかにした。その結果、後述するように3件の研究テーマを設定して、飛沫帯および干満帯において少なくとも20年の防食性、耐久性を有することを目標とした材料と工法の検証を、実海域曝露試験によって実施することにした。

この試験結果を体系的に整理し、高性能で信頼性が高く、かつ経済性に優れた飛沫帯・干満帯の防食技術を開発するのが本研究の目的である。

1.2 飛沫帯・干満帯に関する防食技術の現状

海洋構造物に対する防食方法は海洋環境の腐食性区分からみて、これまでは一般に、海上大気部は塗装が優れた効果を示して大きな役割りを果たしつつあり、海水没水部以下は電気防食が有効で、すでに十分実績を重ねている。しかし、海水飛沫を常時受ける飛沫帯および海水の冠水と乾燥をくり返す干満帯は、塗覆装という手段があるものの必ずしも信頼性や耐久性の高い防食技術が確立されていなかった。また、塗覆装の損傷部に対する補修に関しても、環境条件を克服した安全かつ有効な補修システムが確立されていなかった。

(1) これまでの飛沫帯・干満帯に関する防食技術

飛沫帯・干満帯の鋼材に対するこれまでの防食技術は、主として塗覆装（塗装・ライニング・被覆）であると言えよう。塗装はいわゆる厚膜塗装（ライニング）で、被覆は各種の防食材と保護材を組合わせて積層するものが多い。

本研究においては、曝露試験に先立って、昭和57年3月にまとめられたフィージビリティ・スタディでは、これらの塗覆装の種類、構成、材料、特徴をくわしく調査し、対象構造物ごとの適用性や防食法の選択についても注意点を明らかにしている。さらに今後の課題として、開発すべき防食技術、補修技術の必要項目をまとめている。

次にそれらの内容を若干紹介する。

防食技術の現状としては、塗装は各種の厚膜型重塗装が実用されているが、10～15年程度の耐久性が期

待されている。有機質ライニングはポリエチレン、ゴム、レジンモルタル、ペトロラタムテープ+FRP保護カバーなどが実績を重ねている。無機質ライニングでは、セメントモルタル、コンクリートとしてはポリマー含浸、各種のファイバー強化があり、FRP型枠、鋼板型枠などがある。耐食性金属被覆としては、事例が少ないながらもチタン、モネル、キュプロニッケル、耐海水性ステンレス鋼、アルミ溶射などがある。犠牲鉄板巻きは板厚や寿命に限界があり、適用例は少ない。以上はいずれもまだ実績年数が短かく、長期耐久性のデータが少ないが、次第に蓄積されつつある。また、施工性、補修性、経済性を含む総合的な評価も十分とは言えないとしている。

防食法の選択については、耐食性、耐候性、耐衝撃性、耐摩耗性、施工性、補修法、美観、経済性、実績などを比較検討すべきだとして、代表的防食仕様の相対的評価をまとめている。

今後の課題としては、最も重要なものとしてメンテナンスフリーを旨とした耐食性金属被覆の利用技術の開発、各種防食材料を組合わせた複合防食技術の開発、超厚膜塗装および有機ライニングの補修技術をあげている。また、各防食法に共通する重要な課題として耐久性予測技術の開発、防食被覆として具備すべき特性値の把握、最適防食法選択法の開発をあげ、さらに各防食法ごとに解決すべき課題を具体的に示している。

(2) これまでの飛沫帯・干満帯の防食技術に関する研究

建設者土木研究所では、これまでも海域における土木鋼構造物の防食に関して数多くの調査試験を実施してきた。そのうち、とくに飛沫帯、干満帯の防食技術に関する代表的な研究としては、千葉県千葉港沖および茨城県阿字ヶ浦沖において昭和50年および昭和51年から実施された防食鋼管杭曝露試験がある。

この研究は、長期間の苛酷な海洋環境に耐える防食法の開発を目的として、昭和48年度を初年度とする4年間の建設省総合技術開発プロジェクト「海洋構造物建造技術の開発」の小課題「構造材料の防食技術の開発」に関する試験で、プロジェクト終了後も引続き合計10年間を試験期間として継続された。プロジェクト期間中は建設省土木研究所、(財)国土開発技術研究センター、鋼管杭協会の三者共同研究体制で、プロジェクト終了後は建設省土木研究所から鋼管杭協会への委託試験として実施している。

研究の内容は、千葉沖および阿字ヶ浦沖に防食鋼管杭および防食試験片を曝露し、その外観的な変状および塗覆装の物性変化を年次的に観察・測定するものである。供試材はのべにして鋼管杭52本、試験材132本で、防食仕様は防食・防汚を目的に多種類である。最終的には、昭和61年度に千葉沖の鋼管杭を回収し、それまでにすべて回収された試験片との詳細調査結果から曝露約10年間の防食性能評価をまとめた。この結果は、それまでの知見と総合されて、適用範囲、防食設計、推奨防食法、信頼性評価、施工、維持、補修などの構成から成る「海洋構造物の防食指針・同解説（案）、（飛沫帯・干満帯編）」として平成2年に建設省土木研究所および鋼管杭協会の連名で指針化（案）された。

1.3 官民共同研究開始の経緯と進め方

1.3.1 共同研究開始の経緯

(1) 科学技術庁の研究計画

科学技術庁では、昭和57年から科学技術振興調整費によって「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」を5箇年計画としてスタートさせたが、これに含まれる研究項目は、次のとおりである。

- ① 海洋構造物の設計・施工等に必要な自然環境を把握する技術の開発
- ② 大型の浮遊式海洋構造物の建設基礎技術の開発
- ③ 厳しい波浪から海洋構造物を守る波浪制御技術の開発
- ④ 防食等による海洋構造物の耐久生向上技術の開発
- ⑤ 大波浪海域における海洋構造物の実海域実施研究

(2) 建設省土木研究所の研究計画

上記のうち、建設省土木研究所が担当することになった研究計画は、④の「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術の開発」研究である。

この研究を実施するにあたって、民間の技術力の参加を得て、官民による共同研究として、これを進めることになった。そしてこの研究の曝露試験は、駿河湾静岡県側大井川沖の「海洋技術総合研究施設」を利用して実施することになった。

共同研究の実施機関は、次のとおりである。

(官側) 建設省土木研究所

(民側) 社団法人鋼材倶楽部

社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会

財団法人土木研究センター

ただこの研究は、「耐久性の向上」をめざしており、耐久性に関する試験は、これまでの内外の例をみても比較的長期の実験となっているので、実海域での数年間の短期的曝露試験では、本来的な目的が達成されなかったことが明らかであるので科学技術庁が設定した5箇年の期間（昭和57年～61年）が終了した後、すなわち昭和62年以降も曝露試験を継続することとしてスタートした。

共同研究は、当面20年間を目途としているが、社会情勢の変化、試験内容の進化等が予想されるので、差当り昭和58年度（1983）から平成5年度（1993）までの10年間の研究計画を策定している。

(3) 共同研究の目的

海洋技術総合研究施設を用いて、海洋構造物を対象とする高度な防食技術の開発および、それらの長期耐久性評価を行うことを目的とする。

(4) 共同研究の名称と分担

共同研究の名称は「海洋構造物の耐久性向上に関する研究」

また、共同研究の研究項目別の分担を表-1・1に示す。

表-1・1 共同研究課題と分担

研 究 項 目	研 究 細 目	研究分担
1 飛沫部及び干満部における鋼構造物の防食技術に関する研究	1) 防食被覆材料の適用試験（本体）	A B
	2) 防食被覆材料の耐久性試験（防食供試体）	B
2 飛沫部におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究	1) コンクリート中の鋼材の防食技術の開発	A
	2) 耐海水コンクリート部材の設計技術の開発	C
3 海中部における電気防食設計技術に関する研究	1) 構造形状に応じた電気防食設計法の開発試験	A
	2) 塗装併用電気防食設計技術の開発実験	D
4 海上大気部の長期防錆型塗装技術に関する研究	1) 長期防錆型塗装系の適用試験	A
	2) 長期防錆型塗装系の耐久性試験	D
5 研究成果のまとめ		A B C D

注) A : 土木研究所、B : 鋼材倶楽部、C : プレストレスト・コンクリート建設業協会、

D : 土木研究センター

1.3.2 共同研究の進め方

(1) 共同研究の運営体制

海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究協定を建設省土木研究所と民間3団体とで、毎年締結する。

共同研究を円滑かつ効果的に運営していくため、次の組織を設けて業務を推進する

1) 防錆防食技術開発委員会（開発委員会）

- ① 研究計画の審議
- ② 研究成果報告の審議

2) 共同研究連絡調整会議（連絡調整会議）

- ① 研究運営の連絡調整

3) 共同研究分科会（第1、第2、第3の3分科会とする。）

(各分科会内で、さらに組織を分けることがある。)

① 研究計画の原案作成

② 研究の実施

3) 研究報告書の原案作成

4) 共同研究事務局

① 土木研究センター内に設置

② 委員会、連絡調整会議の開催

③ 委員会資料等の作成

④ 共同研究報告書の取り纏め作成

(2) 分科会の構成

1) 第1分科会：土木研究所、鋼材倶楽部で構成される。

第1分科会にワーキンググループを編成し、1WGは耐食性金属材料部門、2WGは高分子系塗覆装防食材部門としている。

2) 第2分科会：土木研究所、プレストレスト・コンクリート建設業協会で構成される。

3) 第3分科会：土木研究所、土木研究センターで構成し、電気防食部門と塗料部門に分ける。

(3) 防錆防食技術開発委員会（平成6年度）

委員長 浅間 達雄 財団法人土木研究センター参与

副委員長 蒔田 實 財団法人土木研究センター参与

委員 岡崎 治義 建設省土木研究所材料施工部長

々 片脇 清 建設省土木研究所新材料開発研究官

々 坂本 浩行 建設省土木研究所化学研究室長

々 久我 昂 社団法人鋼材倶楽部土木専門委員会委員長

々 清水 健次 社団法人鋼材倶楽部市場開発部長

々 津野 和男 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会
耐久性技術委員会委員長

々 武藤 徳一 社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会
専務理事

委員 田中柳之助 財団法人土木研究センター顧問
 々 小林 豊治 財団法人土木研究センター技術委員
 々 佐藤 靖 財団法人土木研究センター技術委員
 々 森 芳徳 財団法人土木研究センター常任参与調査試験部長

(4) 共同研究連絡調整会議（平成6年度）

久我 昂 社団法人鋼材倶楽部（新日本製鐵㈱建材技術開発部担当部長）
 伊藤 陽一 々 （新日本製鐵㈱鉄構研究所表面処理研究部主任研究員）
 清水 義明 々 （NKK総合材料研究所京浜材料研究センター主幹）
 栗栖 孝雄 々 （川崎製鉄㈱エンジニアリング事業部鋼構造研究所主査）
 塩谷 千歳 々 （住友金属工業㈱建設技術部東京土木建材技術室参事）
 中家 俊和 々 （関西ペイント㈱技術開発本部第四部係長）
 田邊 弘往 々 （大日本塗料㈱技術本部基礎研究部参事補研究員）
 海野 武人 々 （ナカボーテック㈱技術開発研究所専門部長）
 三浦 正美 々 市場開発部土木開発課長
 太田 稔 社団法人ルスト・コンクリート建設業協会（㈱ピー・エス 第一営業部長）
 武藤 徳一 々 専務理事
 町田 武 々 （㈱ピー・エス メンテナンス室長）
 田中柳之助 財団法人土木研究センター顧問
 森 芳徳 々 常任参与調査試験部長
 戸村 壽一 々 （ナカボーテック㈱取締役業務本部長）
 福島 稔 々 （日本ペイント㈱品質保証部長）
 坂本 浩行 建設省土木研究所材料施工部化学研究室長

(5) 共同研究第1分科会の関係者構成(昭和58年度～平成6年度)

(五十音順、敬称略、これまでの研究関係者を含む、○印は主査)

共同研究第1分科会

阿蘇品	英志	日東電気工業(株)	田中	成人	新日本製鐵(株)
石岡	千里	(株)神戸製鋼所	田中	宏	日本鉛亜鉛需要研究会
石渡	正夫	川崎製鉄(株)	田辺	弘往	大日本塗料(株)
伊藤	陽一	新日本製鐵(株)	田原	隆康	(株)日本製鋼所
井上	肇	住友金属工業(株)	千賀	平造	(株)神戸製鋼所
上田	滋夫	ブリヂストン(株)	塚田	博之	(株)日本製鋼所
海野	武人	(株)ナカボーテック	辻	敏幹	大日本塗料(株)
大橋	明	(株)日本製鋼所	土居	一幸	新日本製鐵(株)
大八木亮太郎		(株)チタニウム協会	東辻	善夫	日本鉛亜鉛需要研究会
岡本	忠夫	日本鋼管(株)	轟	丈詩	日本鋼管(株)
片脇	清	建設省土木研究所	富川	昌彦	日本油脂(株)
加藤	敏	住友金属工業(株)	中家	俊和	関西ペイント(株)
川上	元雄	(株)神戸製鋼所	中山	種清	住友金属工業(株)
川口	三六生	横浜ゴム(株)	中山	実	日本鉛亜鉛需要研究会
北岡	一泰	(株)チタニウム協会	奈良部	博	三井金属塗料化学(株)
北村	昌章	住金大径鋼管(株)	橋本	定明	関西ペイント(株)
橋高	元	(株)神戸製鋼所	長谷川	欣也	川崎製鉄(株)
○ 久我	昂	新日本製鐵(株)	林	登	(株)神戸製鋼所
久野	忠一	川崎製鉄(株)	東	常廣	(株)井上商会
栗栖	孝雄	川崎製鉄(株)	肥田	修	(株)日本製鋼所
児玉	五男	昭和高分子(株)	平松	雄二	日本油脂(株)
小林	一樹	横浜ゴム(株)	藤井	雅光	(株)日本チタニウム協会
佐藤	一郎	(株)鋼材倶楽部	藤田	正敏	関西ペイント(株)
佐野	俊一	日本油脂(株)	前田	正竜	住友金属工業(株)
塩谷	千歳	住友金属工業(株)	溝邊	喜久雄	(株)神戸製鋼所
実藤	公一	三井金属塗料化学(株)	宮下	正文	(株)日本製鋼所
篠原	敏雄	日本鋼管(株)	村瀬	系三	(株)チタニウム協会
篠原	稔雄	大日本塗料(株)	○ 望月	博正	新日本製鐵(株)
清水	義明	日本鋼管(株)	森	芳徳	建設省土木研究所
下田	和則	日本鉛亜鉛需要研究会	吉川	浩助	日本亜鉛需要研究会
下畑	隆司	(株)神戸製鋼所	吉田	耕太郎	新日本製鐵(株)
白井	健三	関西ペイント(株)	吉間	豊	(株)神戸製鋼所
○ 白石	基雄	新日本製鐵(株)	萬	浩一郎	日本シーアールエム(株)
新谷	与一郎	日本ステンレス(株)			
鈴木	清	(株)チタニウム協会			
鈴木	敏夫	(株)チタニウム協会			
鈴木	嘉秋	新日本製鐵(株)			
瀬渡	哲朗	住友金属工業(株)			
○ 大長	智	新日本製鐵(株)			
高橋	功	川崎製鉄(株)			
○ 瀧口	洋一	新日本製鐵(株)			
武生	博之	(株)神戸製鋼所			
竹光	忠志	中国塗料(株)			
田中	繁夫	日本鋼管(株)			

共同研究第1分科会ワーキンググループ1

石岡	千里	(株)神戸製鋼所	土居	一幸	新日本製鐵(株)
石渡	正夫	川崎製鉄(株)	東辻	善夫	日本鉛亜鉛需要研究会
伊藤	陽一	新日本製鐵(株)	轟	丈詩	日本鋼管(株)
井上	肇	住友金属工業(株)	中家	俊和	関西ペイント(株)
海野	武人	(株)ナガボータック	中山	種清	住友金属工業(株)
大橋	明	(株)日本製鋼所	中山	実	日本鉛亜鉛需要研究会
大八木亮太郎	(株)チタニウム協会		橋本	定明	関西ペイント(株)
岡本	忠夫	日本鋼管(株)	長谷川	欣也	川崎製鉄(株)
片脇	清	建設省土木研究所	林	登	(株)神戸製鋼所
加藤	敏	住友金属工業(株)	肥田	修	(株)日本製鋼所
川上	元雄	(株)神戸製鋼所	藤井	雅光	(株)日本チタニウム協会
北岡	一泰	(株)チタニウム協会	藤田	正敏	関西ペイント(株)
北村	昌章	住金大径鋼管(株)	前田	正竜	住友金属工業(株)
橋高	元	(株)神戸製鋼所	溝邊	喜久雄	(株)神戸製鋼所
久野	忠一	川崎製鉄(株)	宮下	正文	(株)日本製鋼所
久我	昂	新日本製鐵(株)	村瀬	系三	(株)チタニウム協会
栗栖	孝雄	川崎製鉄(株)	望月	博正	新日本製鐵(株)
佐藤	一郎	(株)鋼材倶楽部	森	芳徳	建設省土木研究所
塩谷	千歳	住友金属工業(株)	吉川	浩助	日本鉛亜鉛需要研究会
篠原	敏雄	日本鋼管(株)	吉田	耕太郎	新日本製鐵(株)
清水	義明	日本鋼管(株)	吉間	豊	(株)神戸製鋼所
下田	和則	日本鉛亜鉛需要研究会			
下畑	隆司	(株)神戸製鋼所			
白石	基雄	新日本製鐵(株)			
新谷	与一郎	日本ステンレス(株)			
鈴木	清	(株)日本チタニウム協会			
鈴木	敏夫	(株)チタニウム協会			
鈴木	嘉秋	新日本製鐵(株)			
瀬渡	哲朗	住友金属工業(株)			
大長	智	新日本製鐵(株)			
武生	博文	(株)神戸製鋼所			
田中	繁夫	日本鋼管(株)			
田中	成人	新日本製鐵(株)			
田中	宏	日本鉛亜鉛需要研究会			
田辺	弘往	大日本塗料(株)			
田原	隆康	(株)日本製鋼所			
千賀	平造	(株)神戸製鋼所			
塚田	博之	(株)日本製鋼所			

共同研究第1分科会ワーキンググループ2

阿蘇品	英志	日東電気工業(株)	田中	成人	新日本製鐵(株)
伊藤	陽一	新日本製鐵(株)	田辺	弘往	大日本塗料(株)
上田	滋夫	(株)ブリヂストン	辻	敏幹	大日本塗料(株)
海野	武人	(株)ナカボーテック	土居	一幸	新日本製鐵(株)
岡本	毅	中国塗料(株)	苫元	尚明	横浜ゴム(株)
片脇	清	建設省土木研究所	富川	昌彦	日本油脂(株)
加藤	久	日本高分子化学(株)	永井	晶憲	大日本塗料(株)
川口	三六生	横浜ゴム(株)	中家	俊和	関西ペイント(株)
川崎	靖夫	三井金属鉱業(株)	奈良部	博	三井金属塗料化学(株)
北村	昌章	住金大径鋼管(株)	芳賀	和雄	(株)ブリヂストン
久我	昂	新日本製鐵(株)	橋本	定明	関西ペイント(株)
久野	忠一	川崎製鉄(株)	東	常廣	(株)井上商会
栗栖	孝雄	川崎製鉄(株)	藤田	正敏	関西ペイント(株)
児玉	五男	昭和高分子(株)	前田	正竜	住友金属工業(株)
小林	一樹	横浜ゴム(株)	森	芳徳	建設省土木研究所
佐藤	一郎	(株)鋼材倶楽部	吉田	耕太郎	新日本製鐵(株)
佐野	俊一	日本油脂(株)	萬	浩一郎	日本シーアールエム(株)
塩谷	千歳	住友金属工業(株)			
実藤	公一	三井金属塗料化学(株)			
篠原	稔雄	大日本塗料(株)			
清水	義明	日本鋼管(株)			
白井	健三	関西ペイント(株)			
鈴木	嘉秋	新日本製鐵(株)			
大長	智	新日本製鐵(株)			
高橋	功	川崎製鉄(株)			
高橋	弘孝	(株)日本アマコート			
多記	徹	大日本塗料(株)			
竹光	忠志	中国塗料(株)			

2. 研究施設

2.1 海洋技術総合研究施設の場所

施設の位置は、駿河海岸の静岡県志太郡大井川町高新田地先（沖合）である。

設置地点汀線付近は、勾配 1/10 で比較的きついが、水深 5 m より沖では海底勾配 1/80 と緩い。また、しらす漁に支障ないように海岸線から約 250 m 沖合、水深 7.5 m の位置に設置するよう計画された。東経 138° -18' -55"、北緯 34° -47' -17" の地点である。図-2・1 に研究施設の位置を示す。

飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究は、駿河湾大井川町の沖合約 250 m に設置されたこの海洋技術総合研究施設を利用して行った。

2.2 海洋技術総合研究施設の概要

研究施設の構造と試験への利用法の概要を図-2・2 に示す。また施設の諸元を表-2・1 に示す。

表-2・1 海洋技術総合研究施設諸元

項 目	諸 元
第 1 デッキ	高さ T.P. +13.9m、面積 189㎡ (10.5m×18.0m)
第 2 デッキ	高さ T.P. + 8.9m、面積 255㎡ (15.0m×15.0m+4.0m×7.5m)
第 3 デッキ	高さ T.P. + 2.0m、面積 56.25㎡ (7.5m×7.5m)
海底面標高	深さ T.P. -7.50 m
気象観測用張出し	第 2 デッキに 3 箇所
荷揚げ用張出し	第 2 デッキに 1 箇所
観測タワー	第 1 デッキ上面から、高さ 13.1m
観測建屋	第 1 デッキ上、10.7㎡ (4.5m×2.38m)
設計条件	鋼管杭基礎（9 本）を有するジャケット構造 HWL : T.P. +0.85m MSL : T.P. +0.15m LWL : T.P. -0.7m 海底面土質：砂質土 潮流：0.5m/s、設計波高： $H_{m.s.}=7.7m$ 床荷重：第 1 デッキ：400kg/㎡、第 2 デッキ：356kg/㎡、第 3 デッキ：356kg/㎡
本体防錆防食法	海上大気部：長期防錆型塗装、飛沫干満部：重防食塗覆装、海中部：アルミニウム合金陽極使用電気防食法（一部重防食塗覆装と併用） （これらの防錆防食法は、試験の一部とする。）
施工条件	製作工場（北九州）より海上運搬→ジャケット据付け→鋼管杭打設・固定→デッキ（上部鋼構造物）搭載・固定→各種装備→完成

この駿河湾内の静岡県側大井川沖に科学技術振興調整費によって建設された「海洋技術総合研究施設」は、わが国で最初の恒久的な海洋試験施設で、今後の海洋における防錆防食試験の標準試験場と位置付けられるものである。

本施設は、昭和57年度に建設省土木研究所から製作発注され、昭和58年度に完成した。その後、本施設は、建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所に所管替えとなったので、維持管理は同工事事務所が行っている。

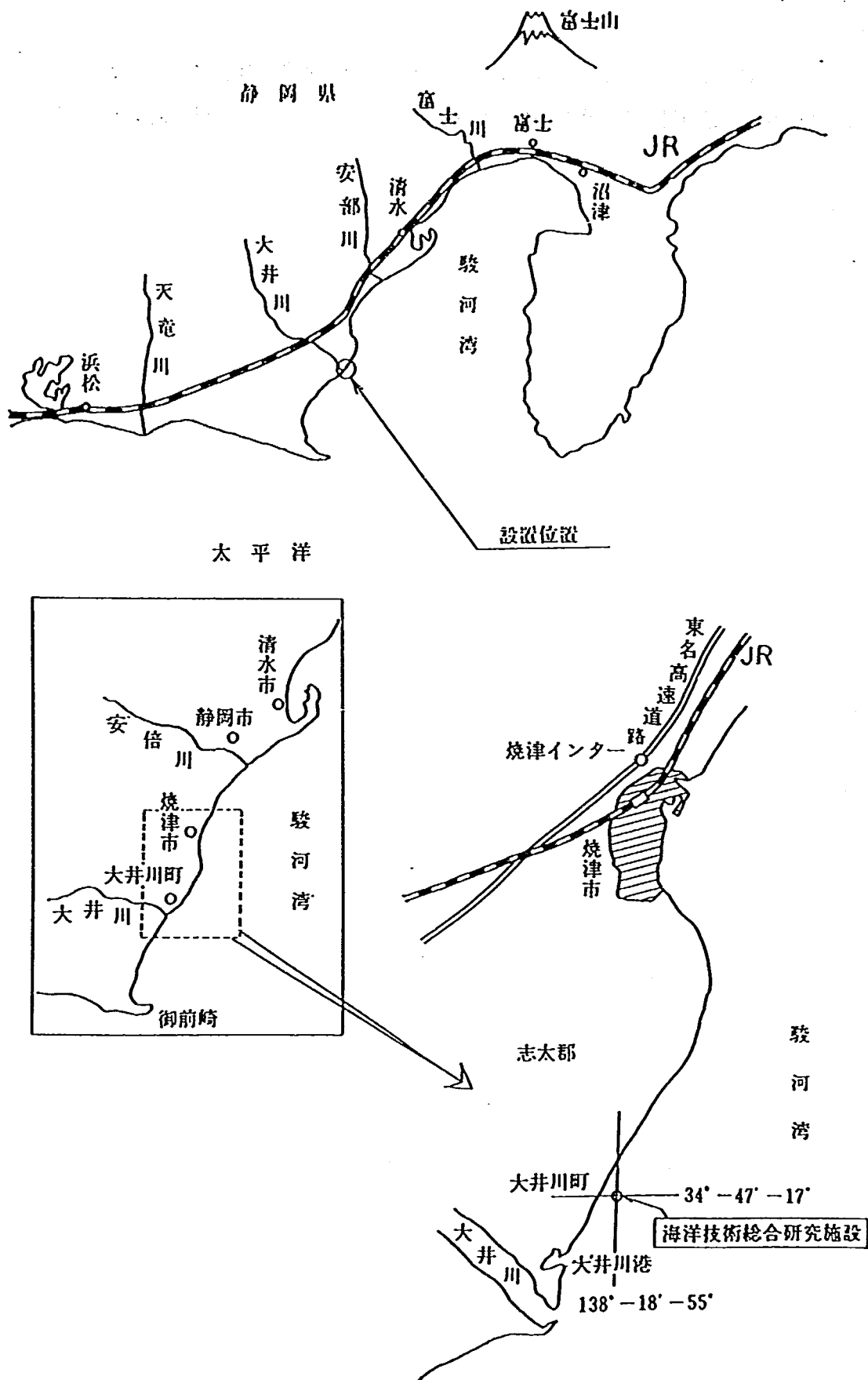


図-2.1 海洋技術総合研究施設位置図

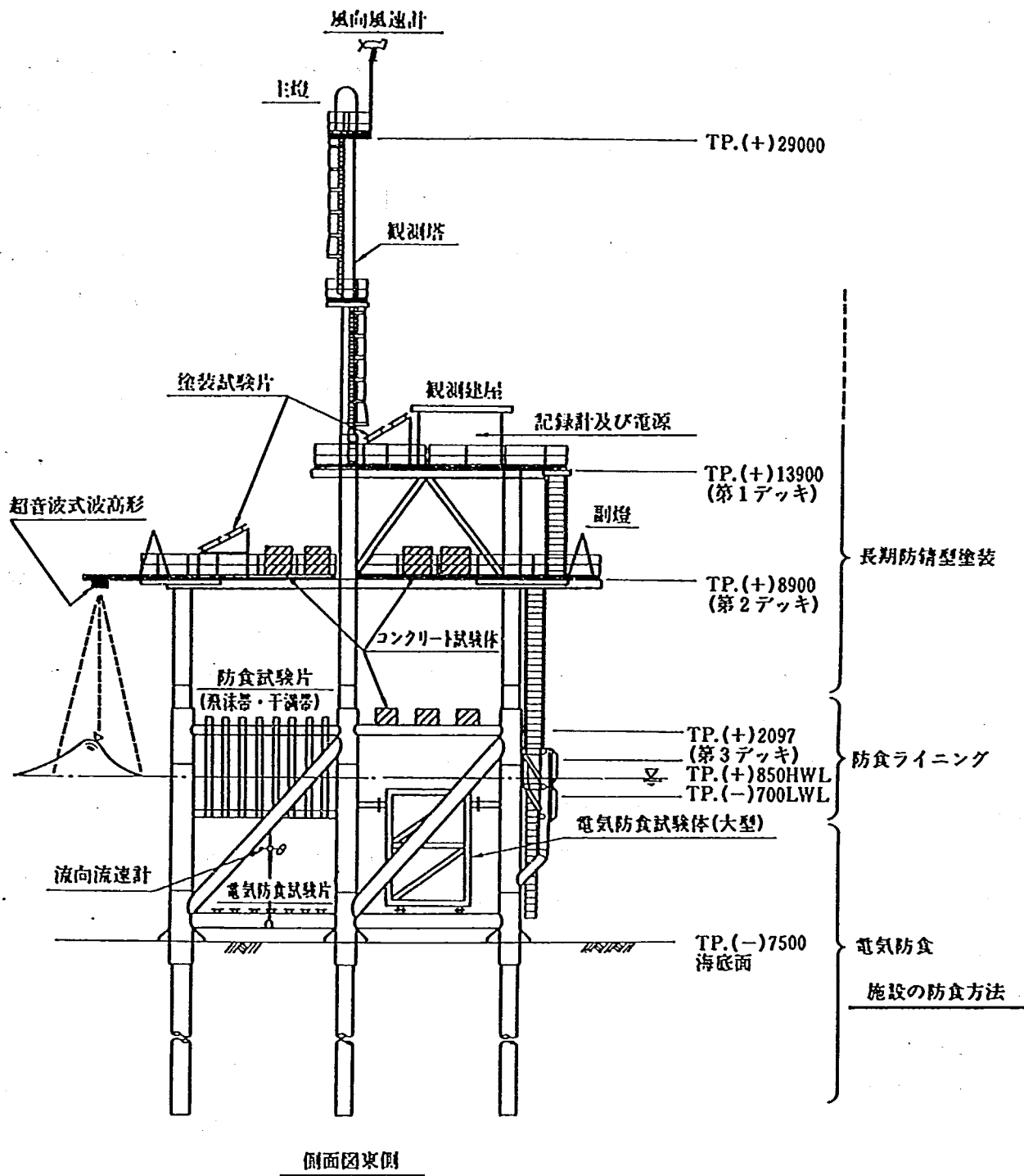


図-2.2 海洋技術総合研究施設 (海洋曝露試験施設)

2.3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯

2.3.1 海洋技術総合研究施設計画の経緯

科学技術庁が関係各省参加のもとに昭和56年度から開始した「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として、建設省土木研究所化学研究室では、分担担当することとなった研究課題「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術」の研究を開始するため、海洋曝露試験施設の設置を検討し、その適地の選考が開始された。

また、建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所では、駿河海岸や富士海岸で海岸浸食や高波による災害防止のための海岸保全事業を実施しており、とくに駿河海岸では海岸浸食が激しいため、浸食の機構と防止工法等のための調査が必要であるとの判断で、そのための観測施設を必要としていた。

したがって、曝露試験用の施設としてのみならず総合的に海域の自然条件を調査し、沿岸の防災にも役立つ施設となる海洋技術総合研究施設として計画された。

2.3.2 研究項目

第1に、海上の風、波浪、潮流、水質、地形、地質など自然条件を明らかにするための観測とその実態把握がある。

第2に、海岸の防災に関する項目がある。これは海岸への土砂供給の現象、海浜変形等への対策用として、漂砂現象の解明等海岸浸食防止対策工法の開発のための研究である。

第3に、構造物の安定性や使用材料の耐久性に関する項目がある。これは、海洋空間や資源利用のため海洋構造物が建設されるが、安定性に関しては、強大な波力に抵抗できる構造形式や疲労が問題であり、耐久性に関しては鋼やコンクリート構造物の腐食が問題とされ、これらの技術開発用研究が必要である。

計画時に検討された主要な研究項目は、次のとおりである。

- (1) 海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究
- (2) 自然環境条件の調査
- (3) 海岸浸食対策に関する調査研究
- (4) 海洋構造物の安定性に関する調査研究

2.3.3 海洋技術総合研究施設の建設地点

上述の研究を推進するための適地の選定にあたり、大井川町、大井川漁業組合等の理解と協力を得て、駿河海岸の静岡県志太郡大井川町高新田地先（沖合）を設置地点と決定した。

3. 研究テーマ

3.1 研究テーマ1および研究テーマ2

第1分科会、WG-1では次の研究テーマ1および2の目的に沿って試験を行っている。

- ・研究テーマ1 「高耐食金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト防食技術の確立」
- ・研究テーマ2 「低合金耐海水鋼材の実使用における優位性の確認検討」

すなわち、研究テーマ1では高耐食性金属材料を使用することによる期待寿命内での完全メンテナンスフリー化およびトータルコスト低減の可能性を探究することを目的とし、研究テーマ2では裸使用時及び塗装使用時において耐海水鋼材が防食性、耐久性、トータルコストの点で有利であるかどうかを探究することを目的としている。

3.2 研究テーマ3

第1分科会、WG-2では次の研究テーマ3の目的に沿って試験を行っている。

- ・研究テーマ3 「新規塗覆装材料及び工法の実使用状態での確性」

すなわち、研究テーマ3では最近開発された新しい防食塗装および防食被覆の実海域での有用性を評価することを目的としている。

4. 試験方法

試験内容は暴露による金属材料の耐食性試験および塗覆装材の防食性と耐久性の効果確認を主とするものであるが、一部に鋼材の電気防食試験も含まれている。

試験材は試験開始後、調査結果をみながら経年的に随時回収したり、途中から新しく加えたりしているもので、1984年開始当初暴露したものを第1次試験材と呼び、その後途中から暴露したものを第2次試験材と呼ぶことにする。

試験は現地における毎年の観察および測定と、回収した試験材を対象とする実験室での破壊調査とを実施する。

4.1 試験場所および試験施設

試験場所はわが国の沿岸海域を代表する場所の一つとして選ばれた静岡県志太郡大井川町高新田地先沖合約250mである。

図-2・1に試験を実施している海洋技術総合研究施設の位置を示す。図-2・2には研究施設の側面を示す。付近の水深は約7.5m、海底は砂質で季節によって海底面の高さが若干変動している。

研究施設の平面的な大きさは約15m×15mでデッキを3段有し、最上階の第1デッキ上には気象観測塔が建っている。第一分科会が実施する試験は海面上約2mの第3デッキのレベル以下に試験材を取付け、また研究施設本体の飛沫帯および干満帯にあたる部位に防食塗覆装を施工し、それぞれ試験対象とした。

4.2 試験環境

前記の研究施設は駿河湾内に設置されており、「静岡県志太郡大井川町史（下）」（1984年10月刊行）によれば、研究施設付近の気象は年平均温度が16.2℃、月平均温度は最高が8月の26.2℃、最低は1月の5.9℃である。夏季は東北地方以北を除くわが国全体の平均気温に近く、冬季は駿河湾に面して沿岸近くを黒潮が流れるので厳しい寒気の到来はない。しかし位置的に風の影響が大きく夏季は東方洋上を台風の接近通過することがあり、ときには直接台風の襲来を受けることもある。また冬季は西方向からの季節風が強い。雨量については、この地方はわが国の多雨地帯の一つで年間2000mmを超え、とくに7～9月に多い。

本試験においては飛沫帯および干満帯における試験材の調査が目的であるから研究施設付近の海水、海象の調査が必要である。各調査時ごとに海水を採取してその水質を分析することとした。

4.3 研究テーマ1およびテーマ2の試験方法

研究テーマ1および研究テーマ2に関して供試された金属系材料の防食仕様は、関係各社が協議して供試験材の製作・施工を分担した。防食仕様および防食施工法は、各社がすでに所有するものか、あるいは開発過程のものである。

4.3.1 第1次試験材

(1) 研究テーマ1

研究テーマ1「高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト防食技術の確立」に関する試験材の種類および詳細調査のための撤去予定を表-4.1に示す。表-4.2に試験材の化学成分を示す。

試験材の形状はいずれも管状で、素管はSTPG38、150A、Sch. 80、肉厚11mmを標準とした。長さは3500mmであり、直径は89.1~171.2mmの範囲内の5種類である。

なお試験材No13のBおよびCについては図-4.1に示すように純チタン管の外面の3もしくは4ヵ所に $20^{\circ} \times 2^{\circ} \times 2900^{\circ}$ mmの細長い純チタン板あるいはチタン合金板をスポット溶接により取付けている。それらの材質を表-4.3に示す。

試験材の防食仕様はオーステナイト系、フェライト系、二相系の各種ステンレス鋼による被覆の他に、キュプロニッケル、モネル、チタン等の非鉄金属による被覆および溶射+塗装系、めっき+塗装系の計13種である。被覆厚さは板巻き施工材およびクラッド材では3mm、二相系ステンレス鋼では素管のままで、その肉厚は9.6~12.7mmである。塗装系は、溶射(200 μ m)+塗装(4mm)、めっき(130 μ m)+エポキシプライマー(30 μ m)+塗装(500 μ m $\times$ 3回)と比較的厚いいわゆる重防食塗装である。

研究テーマ1の第1次試験材のうち表-4.1の◎印および△印を付したものについては、試験材の表面に予め人工的に隙間を付与して、いわゆる隙間腐食発生の有無とその程度を所定年度に調査することにした。◎印は当初の1984年に、また△印については、1987年調査終了後に隙間を付与した。隙間付与の位置は、飛沫帯では平均満潮位(H.W.L)直上、干満帯ではその中央部、海中部では平均干潮位(L.W.L)直下の合計の3ヵ所とした。隙間付与の方法としては、粘着剤付ポリエチレン収縮チューブ(150A用、仕上り厚さ3mm、長さ200mm)を図-4.2に示す位置で加熱収縮させた。

供試験材は当初合計30本で開始した。なお、第1次試験材のうち研究テーマ1のものを記号A系と分類した。

(2) 研究テーマ2

研究テーマ2「低合金系耐海水鋼材の実使用における優位性の確認検討」に関する試験材の種類および詳細調査のための撤去予定を表-4.4に示す。また、表-4.5に試験材の化学成分を示す。

試験材の形状はいずれも山形(プレス曲げ)で、寸法は耐海水鋼が $140 \times 140 \times 18^{\circ} \times 3800^{\circ}$ mmまたは $140 \times 100 \times 20^{\circ} \times 3800^{\circ}$ mm(B-3)、比較のための普通鋼は $140 \times 140 \times 20^{\circ} \times 3800^{\circ}$ mmである。試験材は裸のま

ま(プラストのまま) 供試したほかに、無機ジンクリッチペイント($75\mu\text{m}$) + タールエポキシ樹脂塗料 ($300\mu\text{m} \times 2$ 回) の塗装材を供試した。供試試験材は当初24本で開始した。なお、第1次試験材のうち研究テーマ2のものを記号B系と分類した。

表-4・1 金属被覆系試験材および撤去予定（研究テーマ1）

（第1次試験材）

(第1次試験材料)

No.	防食施工法	防食仕様	索管サイズ (mm)	被覆厚さ (mm)	撤去予定 (経過・年)					当初本数 '84
					'89	'90	'93	'98	'03	
					(6)	(7)	(10)	(15)	(20)	
A-1-1~5	ステンレス鋼板溶接	SUS 316L	165.2φ, 3500ℓ, 11'	3	⊗		⊙	○	○	5
A-2-1~3	ステンレス鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.		3			⊙		○	3
A-3-1~3	ステンレス鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.		3			⊙		○	3
A-4-1~3	ステンレス鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.		3			⊙		○	3
A-5	ステンレス鋼鈑込み 圧延クラッド	SUS 316L (鈑込み圧延クラッド)	165.2φ, 3500ℓ, 8'	3			⊕			1
A-6	溶射+塗装	Zn-13Al + ウォッシュ + ウレタン (200μm) + プライマー + (4mm)	165.2φ, 3500ℓ, 11'	4					○	1
A-7-1~2	索管 (二相ステンレス鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	114.3φ, 3500ℓ, 9.6'				⊕		○	2
A-8-1~2	索管 (二相ステンレス鋼)	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	89.1φ, 3500ℓ, 12.7'				⊕		○	2
A-9-1~2	索管 (二相ステンレス鋼)	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	139.8φ, 3500ℓ, 12'				⊕		○	2
A-10-1~2	キューロニッケル圧延クラッド	9-1 Cupro Nickel	165.2φ, 3500ℓ, 12	3			⊕		○	2
A-11-1~2	モネル圧延クラッド	Monel	165.2φ, 3500ℓ, 9	3		⊙	○		○	2
A-12	溶融めっき+塗装	溶融Zn + ェキソプライマー + GF入りビニルエ めっき + (30μm) + テル(500μm (130μm) × 3回)	165.2φ, 3500ℓ, 11'	1.66					○	1
A-13-A~C	チタン板溶接	A. 純Ti (索管)	165.2φ, 3500ℓ, 11'	3			⊕			3
		B. 純Ti (索管) + 純Ti (片)							○	
		C. 純Ti (索管) + Ti合金 (片)							○	
計										30

注) ⊙ : 1984年隙間付与材
 ⊕ : 1987年隙間付与材
 ⊗ : 1989年撤去済み
 ⊗ : 1990年撤去済み

表-4.2 金属被覆系試験材の化学成分 (研究テーマ)

(第1次試験材) [%]

No.	防食施工法	被 覆 材 料	被覆厚 (mm)	C	S i	M n	P	S	C r	N i	M o	C u	そ の 他	
A-1	ステンレス鋼板溶接	SUS316L(17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	3	0.014	0.69	1.17	0.030	0.001	17.05	12.42	2.09	—		
A-2	ステンレス鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	3	0.04 0.04	0.88 0.70	1.20 1.17	0.021 0.033	0.005 0.003	21.46 21.41	25.30 25.97	5.19 4.70	—	Ti(0.40) Ti(0.41)	
A-3	ステンレス鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	3	0.012	0.47	0.64	0.012	0.009	24.37	49.08	5.74	0.99	Ti(1.25)	
A-4	ステンレス鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.	3	0.0031	0.09	0.09	0.004	0.002	25.5	0.26	3.97	0.01	Al(0.13),Nb(0.15), N(0.0057)	
A-5	ステンレス鋼 鋳込み圧延クラッド	SUS316L(17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	3	0.019	0.43	1.65	0.023	0.002	17.35	12.10	2.065	—		
A-7	素 管 (二相ステンレス 鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	10*	0.018	0.43	0.91	0.029	0.003	24.85	7.00	3.16	—	N(0.138)	A-7-1
				0.019	0.35	0.87	0.030	0.003	24.90	7.15	3.20	—	N(0.139)	A-7-2
A-8	素 管 (二相ステンレス 鋼)	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	9.6*	0.012	0.49	1.04	0.015	0.001	25.0	7.09	3.04	—	N(0.11)	
A-9	素 管 (二相ステンレス 鋼)	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	12.7*	0.017	0.43	1.83	0.023	0.001	21.24	5.39	2.86	0.04		
A-10	キューロニッケル圧延クラッド	9-1キューロニッケル(88Cu-9Ni-Fe-Mn)	2	—	—	0.74	—	—	—	9.36	—	88.53	Cu+Ni+Fe+Mn(99.98) Pb(0.001),Zn(tr), Fe(1.35)	
A-11	モネル圧 延 クラッド	モネル(NCuP,65Ni-31Cu)	3	0.10	0.30	0.94	—	0.003	—	64.95	—	31.36	Ti(0.01),Nb(0.01), Fe(2.31)	
A-13-A	チ タ ン 板 溶 接	純チタン JIS 2 種TP35C	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	H(0.004),O(0.12)**	
A-13-B		純チタン+純チタン(溶接片)											Fe(0.04),N(0.01)	
A-13-C		純チタン+チタン合金(溶接片)											残部Ti	

(注1) * 素管肉厚

(注2) ** 純チタン(管)の化学成分

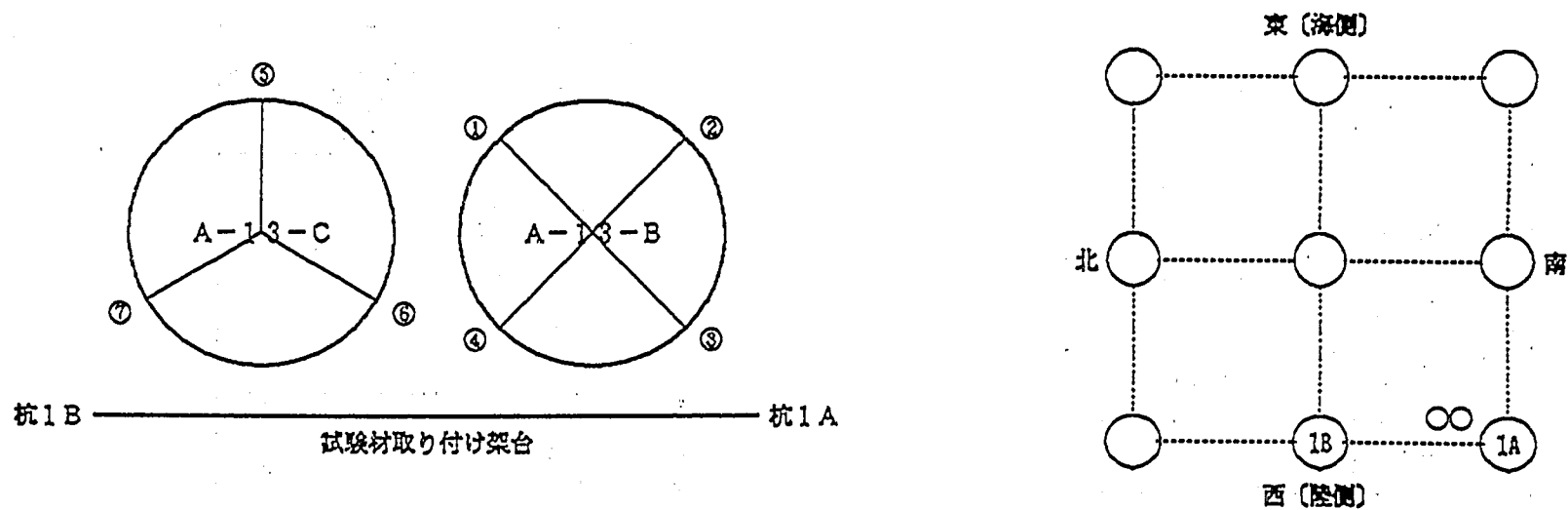


図-4-1 試験材A-13-B、Cに取り付けられた試験片の位置

表-4-3 試験材A-13-B、Cに取り付けられた試験片の材質および化学成分

[%]

試験材 (管)	試験片			C	Fe	N	O	H	Al	V	Ni	Mo	Ti
	№	記号	材質 (仕様、規格)										
A-13-B	①	TP35C	純チタン JIS 2種	—	0.061	0.0039	0.079	0.0019	—	—	—	—	Rem
	②	TP49C	純チタン JIS 3種	—	0.135	0.0038	0.151	<0.0010	—	—	—	—	Rem
	③	Gr 4	純チタン ASTM 0265	<0.005	0.172	0.0037	0.283	0.0033	—	—	—	—	Rem
	④	TP28C	純チタン JIS 1種	—	0.043	0.0031	0.040	0.0016	—	—	—	—	Rem
A-13-C	⑤		チタン合金 (Ti-3Al-2.5V)	0.009	0.213	0.0024	0.042	0.0024	2.90	2.68	—	—	Rem
	⑥	Gr12	チタン合金 ASTM B265(Ti-0.3Mo-0.8Ni)	0.005	0.048	0.0019	0.125	0.0018	—	—	0.87	0.28	Rem
	⑦	Gr 5	チタン合金 ASTM B265(Ti-6Al-4V)	0.011	0.228	0.0029	0.140	0.0071	6.59	4.42	—	—	Rem

試験片寸法: 20'×20'×2900⁴mm
 試験材: 管状、純チタン巻き、TP35C: JIS H4600

表-4・4 耐海水鋼試験材および撤去予定（研究テーマ2）

(第1次試験材)

No	鋼種	防食仕様	撤去予定月 (経過年)							当初本数 '84
			'86	'89	'90	'93	'98	'03		
			3	6	7	10	15	20	予備	
B-1	Cu-Cr-P系耐海水鋼	裸材（ブラスト処理）	⊗	⊖	⊙	○	○	○		6
B-2	Cu-Cr-P系耐海水鋼	無機珪酸ナトリウム（75μm×1回） + フッ化珪酸ナトリウム（300μm×2回）		⊖		○	○	○		4
B-3	L.C.-Cu-P系耐海水鋼	同上		⊖		○	○	○		4
B-4	普通鋼（SS400）	裸材（ブラスト処理）	⊗	⊖		○	○	○	○	6
B-5	普通鋼（SS400）	無機珪酸ナトリウム（75μm×1回） + フッ化珪酸ナトリウム（300μm×2回）		⊖		○	○	○		4
計										24

表-4・5 耐海水鋼試験材の化学成分（研究テーマ2）

(第1次試験材) (%)

No.	鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	そ の 他
B-1 B-2	Cu-Cr-P系 耐海水鋼	0.17	0.48	0.87	0.108	0.020	0.24	0.53	
B-3	L.C.-Cu-P系 耐海水鋼	0.056	0.53	1.43	0.085	0.004	0.32	—	Nb(0.022) Ti(0.019) T. Al(0.044) N (0.0030)
B-4 B-5	普 通 鋼 (SS400)	0.14	0.22	0.72	0.016	0.009	—	0.02	

4.3.2 第2次試験材

試験は長期的な計画を策定して開始したが、単年度ごと、あるいは数年ごとの見直しや中間的総括を行った。その結果、試験材の一時的な撤去回収による現場での観察、繰上げ回収による実験室での原因追求に関する詳細調査、新規試験材の追加暴露などを適宜実施した。

第2次試験材およびそれらを用いた追加試験の目的と内容は次のとおりである。

(I) 研究テーマ1

表-4・6には研究テーマ1および研究テーマ2に関する第2次試験材の内容および暴露の経過と予定を示す。表-4・7には第2次試験材の化学成分を示す。この第2次試験材では材料もしくは試験目的によって1991年度に暴露を開始したものをA系またはC系と分類し、1993年度に開始したものをD系と分類した。

1) SUS316L管材の人工隙間付与部に対する電気防食(第1回)

第1次試験材によるこれまでの観察で、SUS316L鋼とその他のステンレス鋼に海水中および干満帯において人工隙間付与部および付着生物下で多数の隙間腐食発生が確認された。この隙間腐食発生に対する抑制効果の確認を目的として電気防食試験を実施することとした。

防食方法はアルミニウム合金陽極によって電気防食実施中の施設本体との接続状態維持によった。期間は1989年から1991年までの2年間実施した。試験材A-1-6は比較のための非電気防食材で、試験材A-1-7が電気防食材である。

試験材の寸法および形状はSUS316L鋼の165.2'×7.1'×3162^Lmmで隙間付与は第1次試験材と同方法で、位置は図-4・3示すように、干満帯では中央部および下部、海中部では平均干潮位(LWL)直下の合計3ヵ所とした。

2) SUS316L管材の人工隙間付与部に対する電気防食(第2回)

第1回電気防食試験において、半定量的ながら人工隙間付与部および付着生物下の隙間腐食発生が完全に防止されることが確認できたので、第2回試験では陰極電位を設定して電気防食条件を求めることとした。

防食方法は第1回と同様な接続によったが、第2回試験では回路に可変抵抗を挿入し、-500mVおよび-770mV(SCE)に設定した。試験材A-1-8はSUS316L鋼単独を対象に想定して-500mVとし、A-1-9は、SUS316L鋼と普通鋼の組合せを対象と考えて-770mVに設定した。期間は1991年から1993年の2年間とした。試験材の形状、寸法、隙間付与法などは第1回試験と同様である。

3) 耐食性防汚材料としての9-1キュプロニッケル材の暴露

耐食性と防汚性の確認を目的として9-1キュプロニッケル材(A-14)を供試した。試験材は、165.2'×9'×3162^Lmm(合計11mm')の管材で、キュプロニッケル被覆厚2mm'のクラッド鋼である。期間は1991年から10年以上を予定している。

4) チタンクラッド鋼材への一部塗装および電気防食

海上飛沫帯、干満帯および海中部にわたる超長期耐久性を確認する目的でチタンクラッド鋼の角管の上下部に部分塗装し、さらに海中部にアルミニウム合金陽極を取付けて電気防食を実施した。

試験材C-1は肉厚5mm、150×150×3162mm³の角形鋼管の外面に厚さ5mm (Ti 1mm+鋼材4mm)、長さ2412mmのチタンクラッド鋼板を板巻き溶接したもので、さらに角形鋼管の外側の4面に対して中央部の2342mmを残してレベルを変えて上下を塗装し、電気防食は40×100×200mm³、質量2.26kgのアルミニウム合金陽極4個を各面の同レベルに1個ずつ取付けた。塗装は飛沫帯上部に対しては無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂+ふっ素樹脂塗装とし、海中部は無機ジンクリッチペイント+タールエポキシ樹脂塗装とした。干満帯に相当する中央部はチタンクラッドのままである。試験期間は、1991年から10年以上を予定している。

5) 耐海水ステンレス鋼材の暴露

第2次試験材として3種類の耐海水ステンレス鋼の暴露を開始した。試験材D-3は100×150×3800mm³×3mm³のL形板材で、両面をL形の同材質、同厚さで、150mm×200mmおよび170mm×220mm長さ200mmの2枚のステンレス鋼板でゴム板(100×150×200mm³×3mm³)を挟んで両面に隙間を付与した。隙間レベルは飛沫帯(+2010~1810mm)、HWL直上(+1060~+860mm)、±0mm(平均干潮面)直下の3ヵ所とした。

試験材D-4は素管がSTPG370-EG、Sch40、165.2³×3³×3500mm³の管状で耐海水ステンレス鋼被覆は厚さが1mmの板巻き溶接である。人工隙間は第1次試験材の場合と同様の方法で同位置に付与した。

試験材D-5は25.4³×2.2³×3130mm³の耐海水ステンレス鋼管3本を間隔34.6mmで並べたもので、人工隙間は他の試験材と同じレベルに29³×0.5³mmのテフロンチューブを2層重ねて取付けて付与した。

試験期間は10年間を予定している。

6) SUS304管材の人工隙間付与部に対する電気防食(第3回)

すでにSUS316L鋼材の隙間腐食発生に対しては定性的な確認および-500mV、-770mVの設定電位条件下で電気防食が有効なことを確認したが、さらに耐隙間腐食性が劣るといわれるSUS304鋼材に対する同様な効果確認を目的として、第2回試験と同条件による電気防食試験を実施した。試験材は、JIS G3459、SU S304の165.2³×7.85³×3500mm³継目無鋼管3本を用いた。試験材D-6は比較用の非電気防食材とし、D-7およびD-8の試験材は電気防食中の施設本体と可変抵抗を介して接続し、それぞれ-500、-770mVに設定した。電位設定の理由は第2回試験と同様である。なお、人工隙間もSUS316L鋼の場合の第1回、第2回と同様の条件で付与した。

試験期間は2年間を予定している。

(2) 研究テーマ2

1) 耐海水鋼塗装材に対する電気防食

耐海水鋼にさらに長期寿命を期待する防食法として塗装および電気防食を付加した試験材を暴露した。塗装と電気防食の併用は、塗膜損傷部あるいは劣化部を電気防食することで塗装寿命を延引し、防食電流の軽減や電位分布の改善も期待できる。ここではこの防食システム全体の長寿命化の可能性を確認することを目的としている。試験材D-1は200^W×2850^{mm}^Lの板材で、有機ジンクリッチペイント(20 μ m)+エポキシ樹脂塗料(300 μ m)の塗装を施したものを施設本体と接続して電気防食を行った。また、試験材D-2は300^W×3000^{mm}^Lの板材で、無機ジンクリッチペイント(20 μ m)+エポキシ樹脂塗料(300 μ m)の塗装を施したものに同様の電気防食を行った。試験期間は1993年から10年間を予定している。

表-4.6 金属被覆系試験材の内容と暴露予定（研究テーマ1および2）

（第2次試験材）

テーマ	試験材		試験材 No.	防食名称	試験材 形状	素管サイズおよび防食被覆	隙間付与	暴露経過および予定（年）									
								'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	§	'03	
1	SUS316L	非電防	A-1-6	——	パイプ	165.2 ^φ 、3162 ^φ 、7.1 ^φ	○	SUS 電気防食 第1回									
		電防	A-1-7	施設本体に接続			○										
	SUS316L	電防	A-1-8	-500mV	パイプ	165.2 ^φ 、3162 ^φ 、7.1 ^φ	○	SUS 電気防食 第2回									
			A-1-9	-770mV			○										
1	キュープロニッケル クラッド		A-14	9-1キュープロニッケル	パイプ	被覆厚さ2 ^φ 165.2 ^φ 、3162 ^φ 、9 ^φ											
1	チタンクラッド		C-1	Ti+塗装+電防	角 管	被覆厚さ1 ^φ 150×150×3162.5 ^φ											
2	耐海水鋼+塗装 +電防		D-1	施設本体に接続	板	200 ^φ ×850 ^φ OZP(20μm)+E ⁺ （300μm）											
			D-2		板	300 ^φ ×3000 ^φ ×12 ^φ IZP(20μm)+E ⁺ （300μm）											
1	耐海水ステンレス鋼		D-3	20Cr-18Ni-6Mo	L 板	100×150×3800 ^φ ×3 ^φ	○										
			D-4	30Cr-2Mo	パイプ	165.2 ^φ ；Sch40.3500 ^φ 被覆1 ^φ	○										
			D-5	25Cr-7Ni-3.2Mo-0.3N	パイプ	25.4 ^φ ×3130 ^φ 、2.2 ^φ	○										
	SUS304	非電防	D-6	——	パイプ	165.2 ^φ ×3500 ^φ 、7.85 ^φ	○	SUS 電気防食 第3回									
		電防	D-7	-500mV	パイプ		○										
		電防	D-8	-770mV	パイプ		○										

防食被覆のOZPは有機質ジンクリッチプライマー、IZPは無機質ジンクリッチプライマー

表-4.7 金属被覆系試験材の化学成分（研究テーマ1 および2）

(第2次試験材)

テ ー マ	試 験 体		試験体 No.	防 食 内 容	試験体 形 状	隙 間 付 与	化 学 成 分 (%)										備 考
							C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	そ の 他	
1	SUS316L	非電防	A-1-6	—	パイプ	○	0.024	0.35	1.25	0.033	0.001	—	16.35	12.00	2.21	Fe(1.35)	
		電 防	A-1-7	施設本体に接続		○											
	SUS316L	電 防	A-1-8	-500mV	パイプ	○	0.024	0.35	1.25	0.033	0.001	—	16.35	12.00	2.21	Fe(1.35)	
			A-1-9	-770mV		○											
1	キュプロニッケル クラッド		A-14	9-1キュプロニッケル	パイプ		—	—	0.46	—	—	Rem	—	9.47	—	Cu+Ni+Fe+Mn(99.90) Pb(0.01)Zn(0.04)Fe(1.01)	
1	チタンクラッド ¹⁾		C-1	Ti+塗装+電防 ²⁾	角 管												
2	耐海水鋼+塗装 +電防		D-1	施設本体に接続	板		≤0.14	≤1.00	≤1.50	≤ 0.030	≤ 0.030	0.15 ~ 0.40	0.80 ~ 1.30		≤0.30		
			D-2		板		≤0.15	≤0.55	≤1.50	≤ 0.030	≤ 0.035	≥0.20	0.80 ~ 1.50	添加	添加	Nb+N ≤0.15	
1	耐海水ステンレス鋼		D-3	20Cr-18Ni-6Mo	L 板	○	≤0.02	≤0.80	≤1.00	≤0.03	≤ 0.015	0.50 ~ 1.00	19.0 ~ 21.0	17.0 ~ 19.5	5.5 ~ 6.5	N 0.16 ~ 0.24	
			D-4	30Cr-2Mo	パイプ	○	0.003	0.13	0.11	0.018	0.004		29.58	0.14	2.15		
			D-5	25Cr-7Ni-3.2Mo-0.3N	3/4"パイプ	○	0.012	0.43	0.54	0.018	0.0004	0.50	25.30	6.75	3.28	N 0.275	
	SUS304	非電防	D-6	—	パイプ	○	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0 ~ 20.0	8.00 ~ 10.50		SUS304継目無溶接 JIS G3459		
		電 防	D-7	-500mV	パイプ	○											
		電 防	D-8	-770mV	パイプ	○											

1) Ti 1mm'鋼4mm'

2) 角管の上下部を部分塗装、電気防食はアルミ合金陽極を角管に取付け

4.3.3 試験材供試位置

各試験材は試験の目的に合わせて図-4・2および図-4・3に示すように飛沫帯および干満帯にまたがって暴露し、施設本体とは絶縁されて取付けた。1984年の暴露試験開始時の平面配置を図-4・4に示す。

4.3.4 試験期間

試験は1984年3月に暴露を開始し、当初は10年間で予定した。その間計画にもとづき順次試験材の回収を行ったが、1989年以降は随時、新しい試験材を供試した。総合試験期間としては現在のところ当初から20年間で予定している。

4.3.5 調査項目および調査方法

当初は長期的な試験計画として表-4・8に示すような内容のうち始めの10年間で策定した。その間の途中で加えた第2次試験材の追跡調査も考慮して、1993年にその後の10年間の長期計画を策定した。調査は単年度あるいは数年ごとに年度報告にもとづいて見直しや中間的総括を行い、適宜回収や追加あるいは独自調査などを実施した。

表-4・8における定期一般調査とは、現地での外観観察、測定を主として実施するものであり、定期詳細調査とは、破壊試験を含む詳細調査を実施するものである。

表-4・9には調査項目と調査方法を示す。なお、定期一般調査では、とくに大きい変化のみられない一部の調査項目について省略したことがある。図-4・5には各年度の調査試験における観察測定の位置（レベル）を示す。

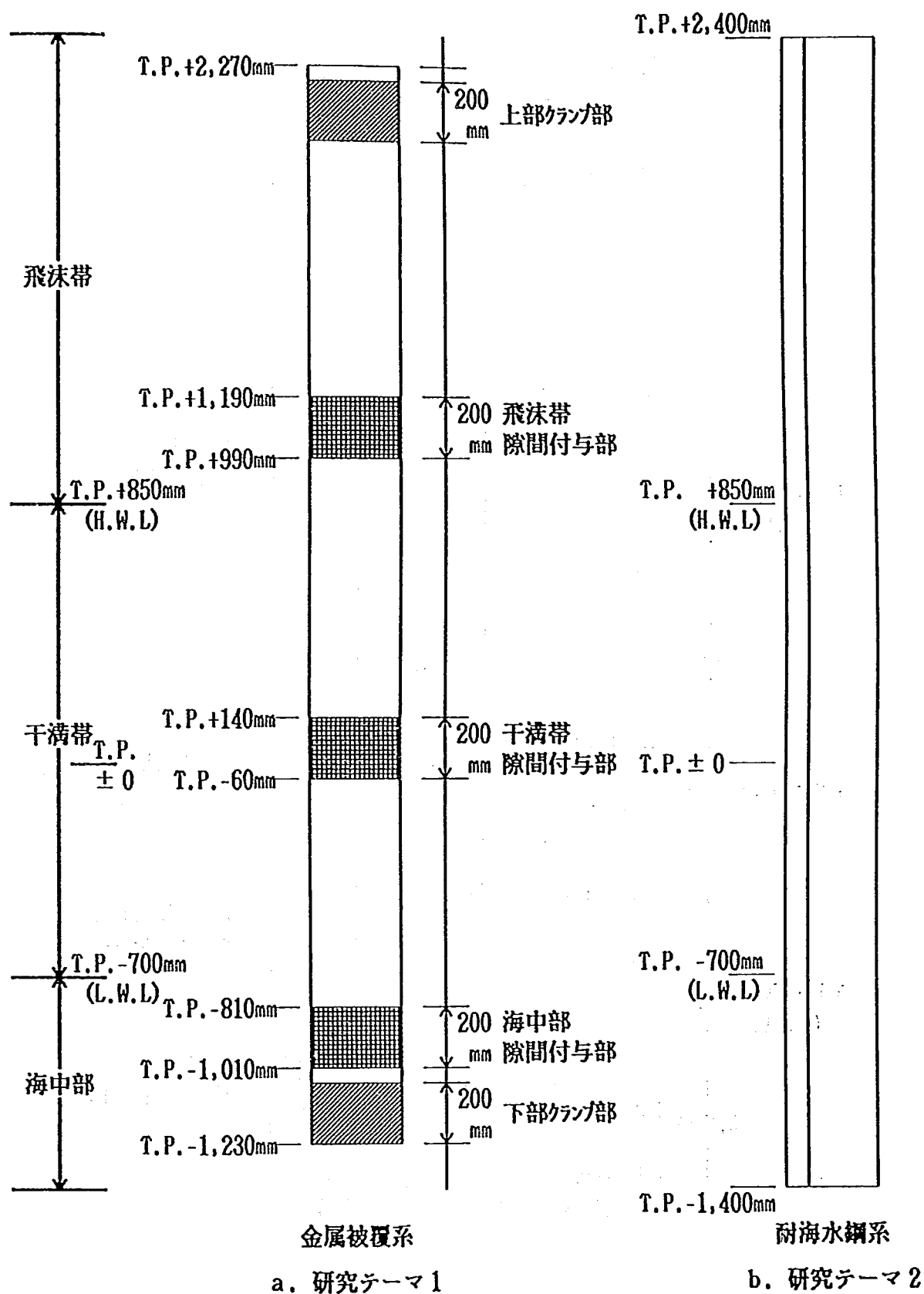
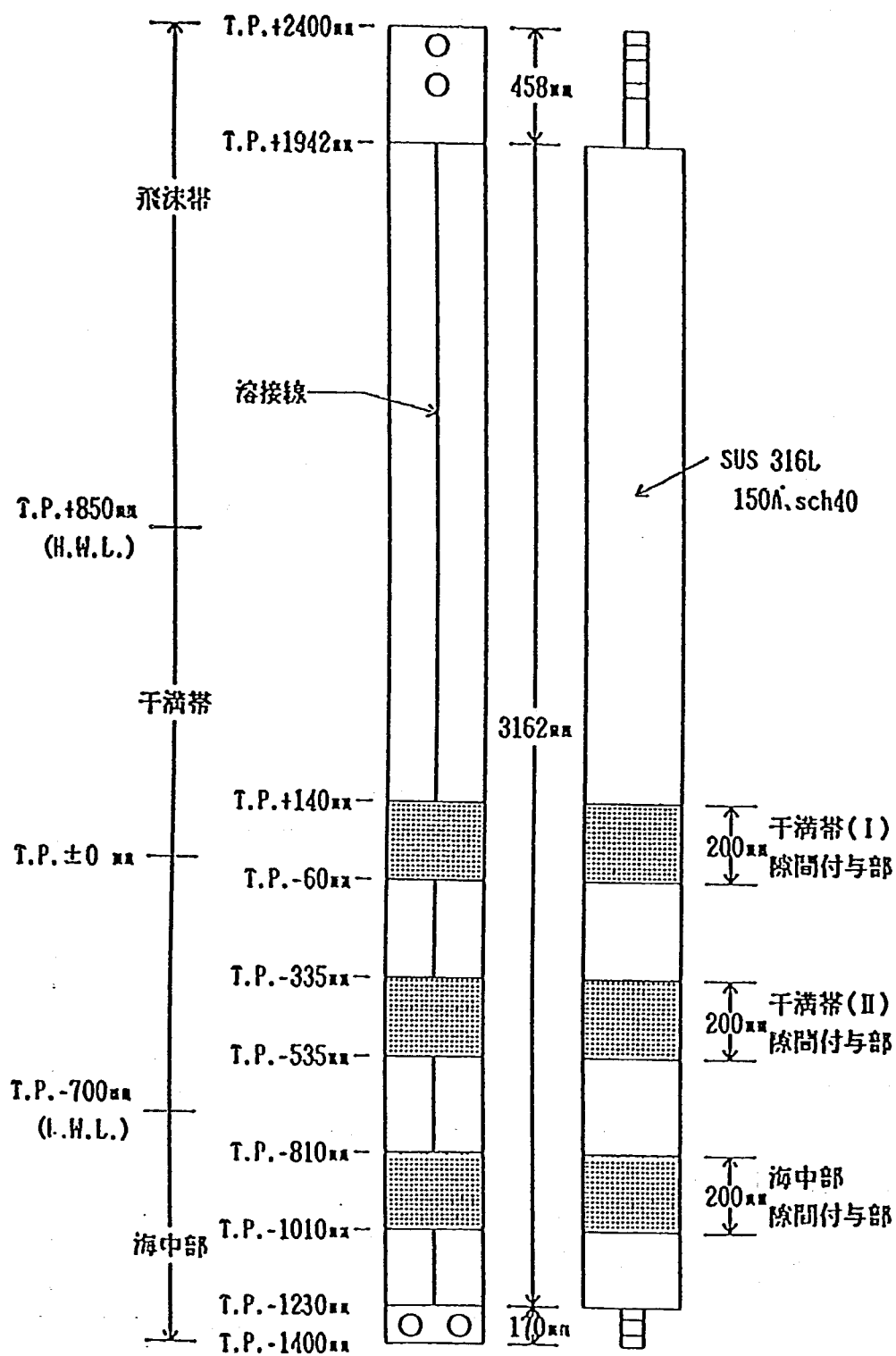
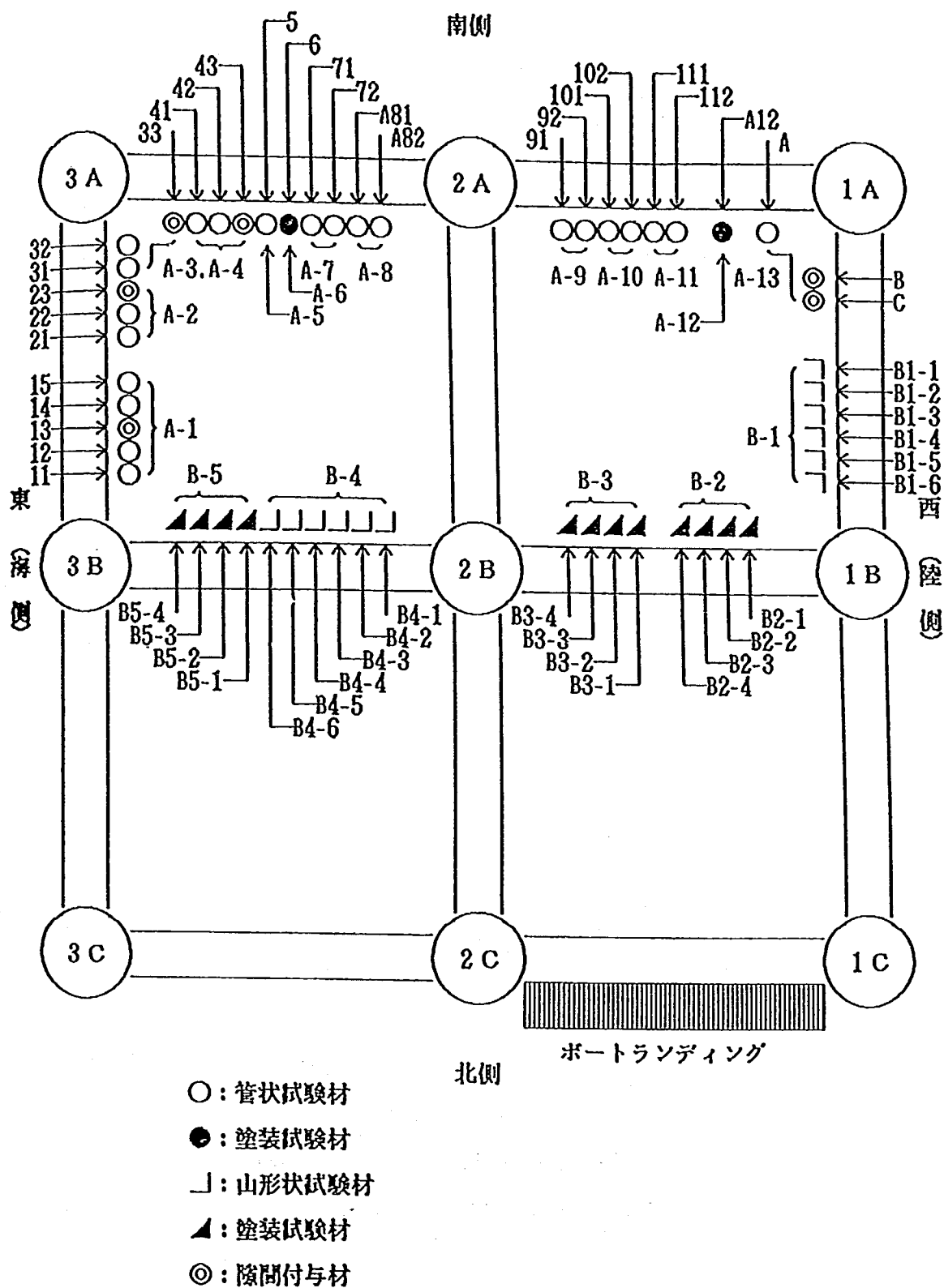


図-4.2 試験材の暴露レベル (第1次試験材)



研究テーマ I

図-4.3 SUS 316 L 鋼の電気防食試験材の暴露レベル (第 2 次試験材)



注) 外周引出し線の記号数字は、系内の試験材を示す。

図-4.4 各試験材の配置 (1984年試験開始時)

表-4・8 長期調査計画（研究テーマ1、2）

年	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93
経過年数	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
調査	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	◎

年	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
経過年数	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5
調査	○	◎	○	○	◎	○	◎	○	○	◎

注) (1)○：定期一般調査
(2)◎：定期詳細調査（破壊調査を含む）

表-4・9 調査項目および調査方法（研究テーマ1、2）

調 査 項 目	調 査 方 法	定期 一般 調査	定期 詳細 調査
外観観察	目視（健全部、異状部）	○	◎
外観写真	全景、接写（健全部、異状部）	○	◎
隙間付与部の観察	目視、デプスゲージ		◎
板厚測定	マイクロメーター		◎
孔食測定	デプスゲージ		◎
生物付着状況調査	目視、秤量	○	◎
付着生物剝離後の観察	目視、デプスゲージ	○	◎
塗膜劣化調査	目視	○	◎
膜厚測定	KETT膜厚計、VL-30B型、レンジⅢ（300μm～8mm）	○	◎
交流抵抗測定	三田無線㈱、LCRメーター、D-55型（交流）、1kHz	○	◎
塗膜ピンホール測定	サコ電子㈱、オシロスコープⅠ型（3～12kV）、5kV印加	○	◎
電気防食効果	電位、電流測定、防食効果目視確認	○	◎

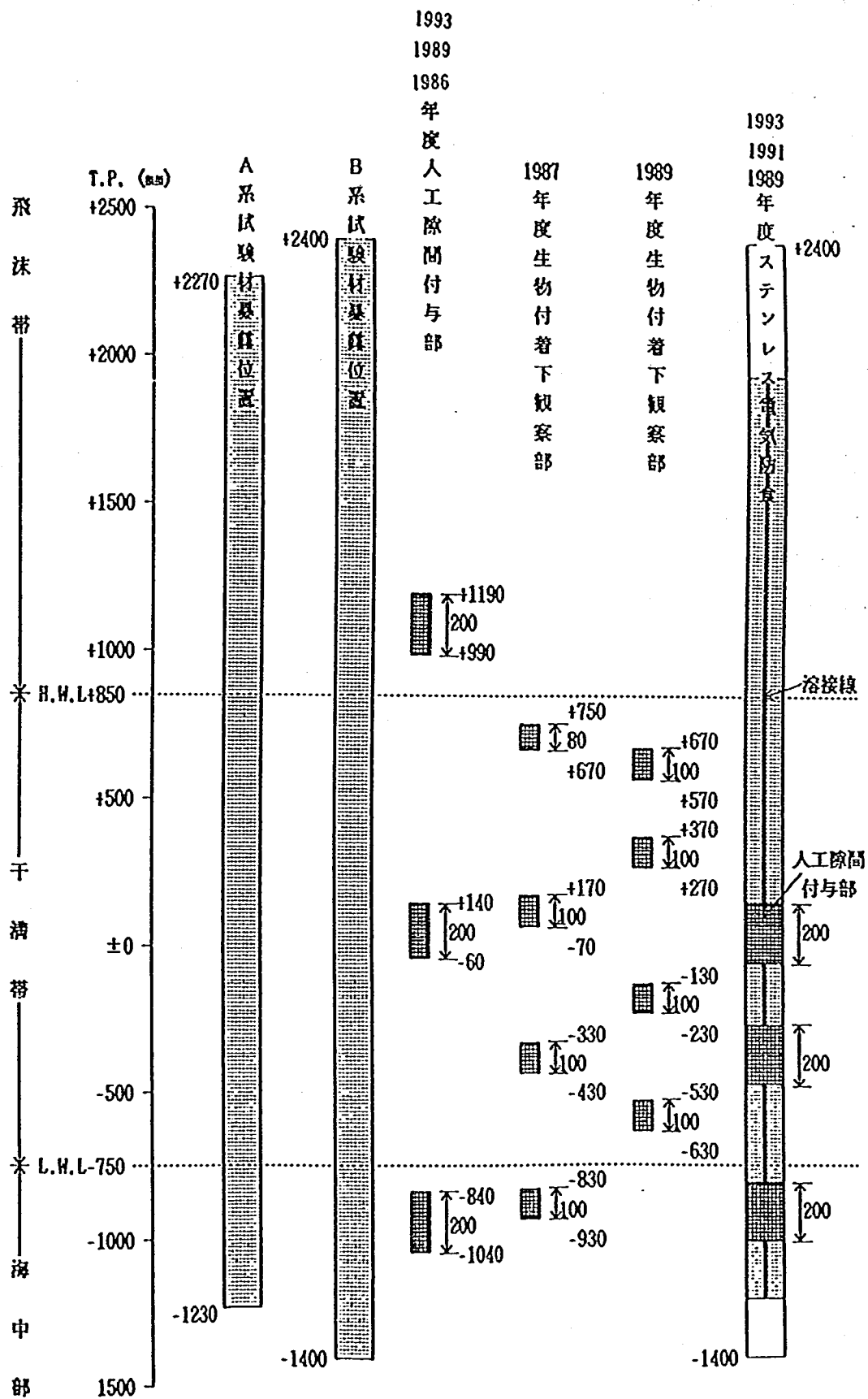


図-4.5 各種試験における観察、測定位置 (レベル)

4.4 研究テーマ3の試験方法

研究テーマ3に関する塗覆装材料の防食仕様および防食施工法は、いずれも各社が独自にすでに所有しているものか、あるいは開発過程のものをそれぞれ供試した。なお、今回の研究では、試験場が漁業海域に近く、環境調和の必要性から各防食仕様とも表面に調色塗装（淡緑色）を実施したので、本来の防食仕様になりトップコートがある。これは評価対象外とした。

4.4.1 第1次試験材

研究テーマ3は、最近開発された新しい防食塗装および防食被覆系の、実海域における有用性を評価することを目的としている。研究テーマ3「新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性」に関する試験材の防食仕様を表-4・10に示す。この研究テーマ3では第1次試験材の防食被覆は、研究施設本体に直接施工した。表-4・10に示す防食系のうちNa10系、Na12系は現場において施設本体据付け後に施工を行ったが、他はいずれも陸上において施設本体製作時に施工を行った。

供試した防食仕様は海洋環境用の重防食塗覆装系のもので、大別して12系統21種類で開始した。

表-4-10(1) 塗覆装系試験材の内容 (研究テーマ3)

(第1次試験材)

No.	防食系	防食仕様	施工対象部材	
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル 樹脂塗料	ビニルエステル系プライマー (30 μ m) + GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3回) + ポリウレタン (30 μ m)	直立材	1 C
2	ガラスフレーク入り ポリエステル 樹脂塗料	有機ジンクリッチ (75 μ m) + GF入りポリエステル (3回塗り、1400 μ m)	直立材	1 B
3		ポリエステル系プライマー (60 μ m) + GF入りポリエステル (3回塗り、1400 μ m)	直立材	1 A $\rightarrow$ 1 B 1 B $\rightarrow$ 1 C
4	ガラスフレーク入り エポキシ樹脂塗料	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	直立材	2 B
5		有機ジンクリッチ (75 μ m) + エポキシ系プライマー (30 μ m) + GF入りエポキシ (500 μ m $\times$ 3回)	直立材	1 B $\rightarrow$ 2 B 2 B $\rightarrow$ 2 C
6	厚膜エポキシ 樹脂塗料	無機ジンクリッチ (15 μ m) + エポキシ (2000 μ m)	直立材	2 C
7	厚膜ウレタン 樹脂塗料	ポリウレタン系プライマー (25 μ m) + ポリウレタン (2000 μ m) + ポリウレタン (30 μ m)	直立材	1 A
8-1	エポキシ系 レジンモルタル	エポキシ系プライマー (25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル (多層塗り、2000 μ m) + ポリウレタン (50 μ m)	直立材	1 A $\leftrightarrow$ 2 A
8-2		エポキシ系プライマー (25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル (多層塗り、2000 μ m) + アクリル (50 μ m)	直立材	3 A 2 A $\rightarrow$ 3 A 1 C $\rightarrow$ 2 C
9-1	ベトロタム + FRPカバー	ベトロタム・ベスト (2.5kg/ m^2) + ポリウレタン発泡体 (緩衝材、5mm) + FRPカバー (3mm)	直立材	3 B 3 B $\rightarrow$ 3 B 3 A $\rightarrow$ 3 B
			斜材	2 A 2 A $\searrow$ 1 A
			斜材	2 B $\searrow$ 2 A 2 B $\searrow$ 1 B 2 C $\searrow$ 2 B 2 C $\searrow$ 3 C
			斜材	1 C $\searrow$ 2 C

表-4-10(2) 塗覆装系試験材の内容 (研究テーマ3)

(第1次試験材)

No.	防食系	防食仕様	施工対象部材	
9-2	エポキシ樹脂塗料 + 防汚塗料	無機ジंकリッチ (50 μ m) + エポキシ (500 μ m $\times$ 2 回) + 有機錫系防汚塗料 (100 μ m)	斜材	1 A \ 1 B
9-3	エポキシ樹脂塗料 + 防汚テープ	無機ジंकリッチ (50 μ m) + エポキシ (500 μ m $\times$ 2 回) + アクリル系ガル防汚テープ (3 mm)	斜材	1 B \ 1 C
10-1	ゴム系粘着材 + FRPカバー	ブチルゴム系粘着材 (1.2mm) + NR系膨潤ゴム (3 mm) + FRPカバー (4 mm)	直立材*	3 C 下
10-2		ブチルゴム系粘着材 (1.2mm) + FRPカバー (3 mm)	水平材*	2 A $\rightarrow$ 2 B 3 B $\rightarrow$ 3 C 2 C $\rightarrow$ 3 C
11	ベトロラタム + FRPカバー	ベトロラタム・ベスト (0.3kg / m^2) + ベトロラタム・テープ (1 mm) + FRPカバー (光硬化型、3 mm) + ポリウレタン (0.2kg / m^2)	直立材 斜材 斜材 斜材	3 C 2 B \ 2 A 3 C \ 3 B 3 B \ 2 B
12-1	ベトロラタム + 各種カバー	ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + ベトロラタム・テープ (55% ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPカバー (2 mm)	直立材接続部*	1 A 1 C
12-2-1		ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + ベトロラタム・テープ (55% ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (2 mm)	直立材接続部*	2 A
12-2-2		ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + シート (2 mm) 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (2 mm)	直立材接続部*	2 C
12-3-1		ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + ベトロラタム・テープ (55% ラップ) + 発泡PE (10mm) + PEカバー (3 mm)	直立材接続部*	1 B 2 B
12-3-2		ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + ベトロラタム・シート (2 mm) + 発泡PE (10mm) + PEカバー (3 mm)	直立材接続部*	3 B
12-4	ベトロラタム + FRPライニング	ベトロラタム・ベスト (0.5kg / m^2) + ベトロラタム・テープ (55% ラップ) + FRPライニング (2 mm)	直立材接続部*	3 A 3 C

*は現地施工

4.4.2 第2次試験材

研究テーマ3における第2次試験材は、当初の10年計画の途中における中間的総括にもとづいて1990年に追加暴露した新規試験材と、1993年10年目（正確には9.5年経過）に新しく暴露した各種目的の各種試験材とに大別される。試験材は暴露開始年、試験目的等によってC系、E系、F系、G系等に分類した。また、このほかに施設本体に施工された被覆系の一部（No12）にも第2次試験材が供試された。

第2次試験材による追加試験の概要は次のとおりである。表-4・11には第2次試験材の内容を示す。

(1) 新規塗料による試験材の暴露（C系）

防食仕様は最近の重防食塗覆装で、超厚膜塗装および着色ポリエチレン樹脂被覆を含みいずれも長期耐久性の確認を目的としている。

試験材は $165.2^{\circ} \times 3500\text{mm}^{\text{L}}$ 、の素管に塗装系としてはポリウレタン、ポリエチレン、アクリルの各樹脂塗装で、C-2～C-7の6本うち2本は上塗りがふっ素樹脂塗料である。暴露開始は1990年で10年以上を予定している。

(2) カラーポリエチレン樹脂被覆材の暴露（E系）

このE系はポリエチレンのカラー化および景観要素をふまえての試験材で、カラーポリエチレン樹脂のほかに一部カラー模様ポリエチレン樹脂も含まれており、耐候性および耐久性の確認を目的としている。

試験材は4本（E-1～E-3、E-5）で、形状は $165.2^{\circ} \times 3500\text{mm}^{\text{L}}$ 、の管状が3本、他の1本は $250^{\circ} \times 12^{\circ} \times 3800\text{mm}^{\text{L}}$ の板状である。防食仕様はすべてカラーポリエチレン被覆で、3本は単色、1枚は模様である。被覆厚さは $2500 \sim 3500 \mu\text{mm}$ である。

試験期間は1993年から10年以上を予定している。

(3) 新規塗料による試験材の暴露（F系）

このF系試験材は、最近の海洋構造物を対象とする超重防食塗装で、いずれも耐久性を確認しようとするものであるが、一部（F-5材）には超重防食に耐候性を加味した塗装系を含み、耐候性と耐久性を確認することを目的としている。

試験材は5本（F-1～F-5）で、形状はいずれも管状で素管寸法は $165.2^{\circ} \times 3500\text{mm}^{\text{L}}$ 、である。防食仕様はいずれも新規塗料で超厚膜エポキシ樹脂塗料、アクリル系樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料の他にシリコン樹脂またはふっ素樹脂の高耐候性上塗塗料を塗装している。被覆厚さは、 $2020 \sim 2620 \mu\text{mm}$ である。試験期間は1993年から10年間を予定している。

(4) 補修材料の耐久性（G系）

防食仕様はいずれも塗装の劣化あるいは損傷後の補修に適用されるもので、予め各種の損傷形態を想定して帯状、円形、塗り残し等の欠陥部を設け、1～2年経過後の適時に補修作業を予定している。補修材料としては原塗覆装材の仕様に応じて水中硬化型エポキシ樹脂塗料、ガラスフレーク入りビニルエステル

樹脂塗料、アクリル樹脂塗料、無溶剤型エポキシ樹脂塗料、防食シート等が計画されており、被覆厚さは約500～5000 μm と多様である。いずれも補修後の塗覆装材の耐久性を確認することを目的としている。試験期間は1993年の施工後、補修を経て10年間の追跡調査を予定している。

試験材は4本（G-1～G-4）であるが管状が1本、他の3本はL形板状である。素管寸法は15 ϕ ×3800 mm^L で、L形板状の寸法は140×20×3800 mm^L および150×19×3800 mm^L である。

(5) ペトロラタム+FRPカバー材の暴露（本体一部に施工）

第1次試験材のNo12ペトロラタム+FRPカバーは海洋試験施設本体を構成する9本の杭の海上大気部のジャケット接続部に現地施工されたものである。防食被覆の仕様は表4・10(2)に示すように表題の標準仕様の他に各種カバー系として5種類の方式を供試したが、1989年に実施したカバー解体時に防食効果が確認されたので全杭を標準仕様に統一した。その後、南東に面した試験材が台風時の波浪や衝突物により損傷を受けたので、1993年には杭No1A、2A、3A、3B、3Cの5本にFRPの厚さを増した強化カバーを供試した。その積層仕様はペトロラタムペースト(0.5 kg/m^2) + ペトロラタムテープ (55%重層巻き) + 発泡ポリエチレン (独立発砲10倍、厚さ10 mm) + FRPカバー (厚さ4 mm 、5 mm) である。いずれも耐久性と防食性を経時調査する予定である。

表-4.11 塗覆装系試験材の概要と暴露予定（研究テーマ3）

(第2次改訂)

W C	チー マ	試 験 材		試験 材No	試験 材形 状	試験寸法 (mm)	塗 装 系	色 調	防 食 仕 様		被覆、塗膜の 合計厚さ(mm)	暴露期間 (年次)	備 考			
1 お よ び 2	3	新 規 試 験 体		新 規 塗 料	C-2	円形	エポキシ樹脂塗料+ふっ素樹脂塗料	灰色	エポキシ (黒) + 白色ふっ素 (灰色)			10年間 1990年～				
					C-3	円形	ポリエチレン	淡緑	着色ポリエチレン (淡緑)							
					C-4	円形	エポキシ樹脂塗料+7フリメチレン樹脂塗料	濃緑	エポキシ (黒) + 着色7フリメチレン (濃緑)							
					C-5	円形	エポキシ樹脂塗料	緑	着色エポキシ (緑2500μm)		2530					
					C-6	円形	エポキシ樹脂塗料	黒	黒色エポキシ (2500μm)		2530					
					C-7	円形	7フリメチレン塗料+ふっ素樹脂塗料	灰	水中硬化型7フリメチレン (下塗り: 2000μm/中塗り: 300μm) + 白色ふっ素・7フリメチレン共重合 (灰色70μm)		2370					
					1	3	新 規 試 験 体	新 規 試 験 材	新 規 塗 料	単色 E-1	円形			エポキシ樹脂被覆	グレイッシュ イエロ-グリーン	
単色 E-2	円形	エポキシ樹脂被覆	グレイッシュ イエロ-グリーン	丸グイ法						2500以上						
単色 E-3	円形	エポキシ樹脂被覆	グレイッシュ グリーン	丸グイ法						3200±50						
模様 E-5	板	エポキシ樹脂被覆	グレイッシュ	多重シート貼り付け方法						2450						
2	3	新 規 試 験 体	新 規 試 験 材	新 規 塗 料						F-1	円形	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	グレー	O Z P (20μm) + エポキシ (1000μm×2)		2020
					F-2	円形	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	青	O Z P (20μm) + エポキシ (1250μm×2)		2520					
					F-3	円形	アクリル系樹脂塗料	青	プライマー (70μm) + アクリル (1500+1000μm) + アクリル (50μm)		2020					
					F-4	円形	ポリウレタン樹脂塗料	黒	プライマー (30μm) + ポリウレタン (2500μm)		2530					
					F-5	円形	高弾性 上塗り塗料 (塩素系樹脂)	下塗り グレー 上塗り 上塗り (1)	O Z P (20μm) + エポキシ (1000μm×2)	シリコン中塗り (30μm) + シリコン上塗り (25μm) ふっ素中塗り (10μm) + ふっ素上塗り (25μm) エポキシ中塗り (35μm) + エポキシ上塗り (35μm)	各 1/3 周	2075 2075 2090				
					G-1	L板	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 水中硬化型エポキシ樹脂塗料	グレー 緑	I Z P (20μm) + エポキシ (1000μm×2) ※塗り残し有り 水中硬化型エポキシ樹脂塗料 (5000μm)		2020 5000	10年間 1993年～	飛沫、付着上、 下塗り300 μmで塗り残し			
					G-2	円形	GF入り着色ビニルエステル	青	O Z P (20μm) + GF入り着色ビニルエステル (350μm×2) (O Z P) ※塗り残し有り 硬化エポキシ (50μm) + GF入り着色ビニルエステル (350μm×2)		720 750					
					G-3	L板	クールエポキシ アクリル系樹脂塗料	黒 青	クールエポキシ (70μm) + クールエポキシ (70μm) プライマー (200μm) + アクリル (150μm) + アクリル (1000μm)		140 1350					
					G-4	L板	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 ①無溶剤型エポキシ樹脂塗料+防食シート	緑 黒	I Z P (75μm) + プライマー (30μm) + GF入りエポキシ (600μm×3) ※帯付付き ①無溶剤型エポキシ樹脂塗料 (400～500μm) ②防食シート (500～600μm)		1605 400, 500					
					ベトナム産木	木板	防腐、IA、2A、3A、3B IC、海上用防腐	ベトラクム ドットカバー	灰色	ベトラクムペースト+ベトラクムテープ+免剥ポリエチレン+ドットカバー 0.5mm/10mm 55%重さ 10倍、10mm 4mm、5mm		—	10年間 1993年～			

1: 防食性鋼板の陽極は有機質ジソクリッチプライマー、陰極は無機質ジソクリッチプライマー

4.4.3 試験材供試位置

(1) 第1次試験材

図-4・6に1984年試験開始時における第1次試験材の各防食塗覆装の位置を示す。防食塗覆装は、施設本体の海上大気部～飛沫帯の直立材、飛沫帯～海中部の直立材、飛沫帯～海中部の斜材および飛沫帯と海水中の水平材を対象に施工されている。図-4・7に各防食塗覆装の暴露レベルと平面配置を示す。

(2) 第2次試験材

研究テーマ3の第2次試験材はすでに述べたように、研究テーマ1および2の撤去後の空きスペースに取付けることになったので、取付け治具が管材用と板材用の2種類があるうえに位置が分散せざるを得なかった。図-4・8に1990年度に取付けた試験材C-2～C-7（管状）の形状と暴露レベルを示す。図-4・9には1990年度および1993年度に暴露した第2次試験材の配置を示す。

No.	防食系	m ²	備考
①	GF入りビニルエステル系	114	ポートランディング含し
②	GF入りポリエステル系	52	
③	GF入りポリエステル系	62	
④	GF入りエポキシ系	72	
⑤	GF入りエポキシ系	59	
⑥	厚膜エポキシ系	60	
⑦	厚膜ウレタン系	66	
⑧	レジンモルタル系	69	
⑨	防食材+カバー系	21	3種類
⑩	防食材+カバー系	28	2種類 現地施工
⑪	防食材+カバー系	40	
⑫	防食材+カバー系	43	4種類 現地施工

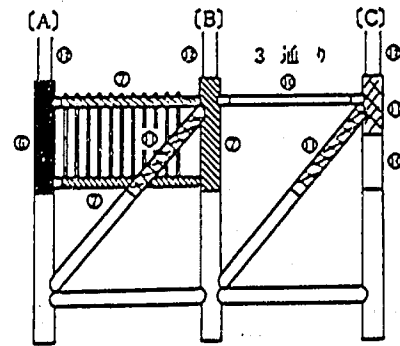
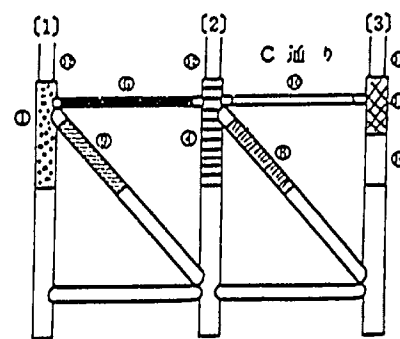
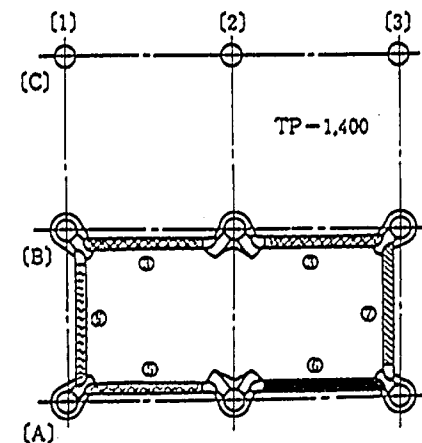
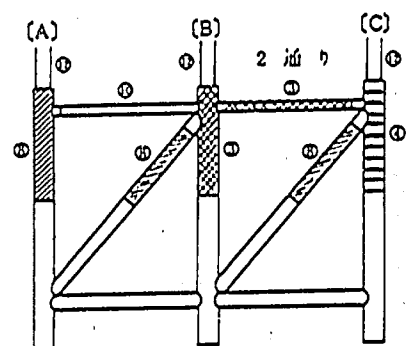
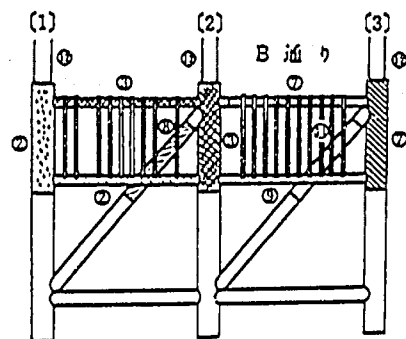
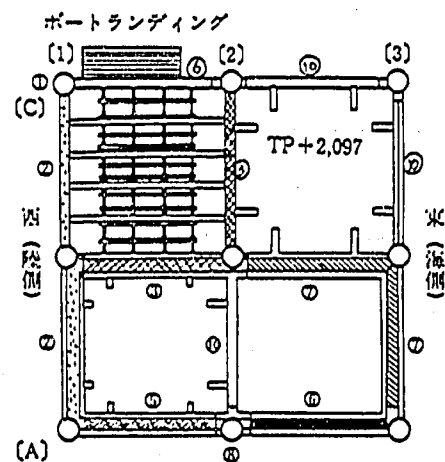
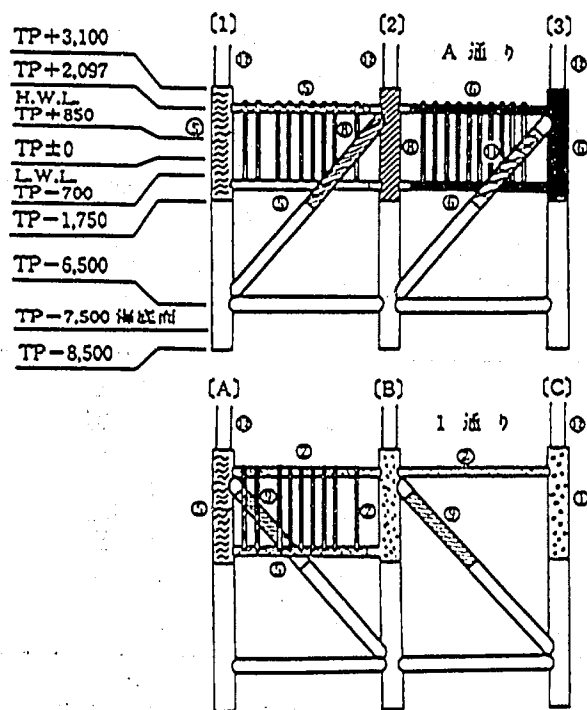


図-4・6 研究施設の防食仕様および位置（研究テーマ3．第1次試験材）

No	暴露レベル(1P)	位置・方向	防食仕様No	本数
1	飛沫帯直立材 (+4,245~+2,300)		1 2	9
2	飛沫帯水平材 (+2,300~-1,894)		2 3 5 6 7 10-2 合 計	2 2 1 2 2 3 12
3	飛沫帯 ~ 干満帯 ~ 海中部 直立材 (+3,100~-1,750)		1 2 3 4 5 6 7 8-1 10-1 11 合 計	1 1 1 1 1 1 1 1 1/2 1/2 9
4	飛沫帯 ~ 干満帯 ~ 海中部 斜材 矢印が下方方向を示す。		8-1 8-2 9-1 9-2 9-3 11 合 計	1 4 1 1 1 1 4 12
5	海中部水平材 (-1,197~-1,603)		2 3 5 6 7 合 計	1 1 2 1 1 6

図-4.7 各種防食塗覆装の暴露レベルと位置 (研究テーマ3. 第1次試験材)

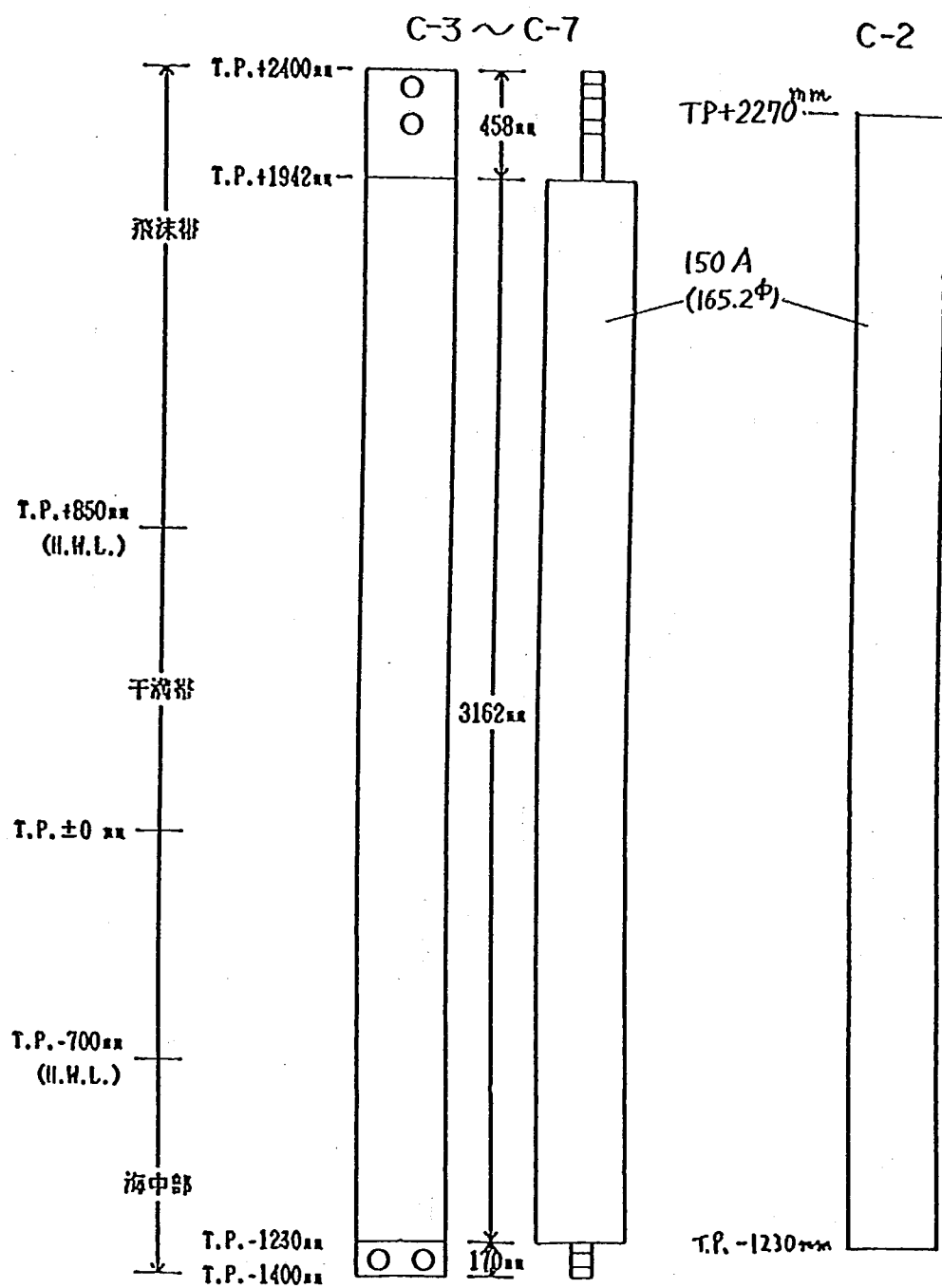
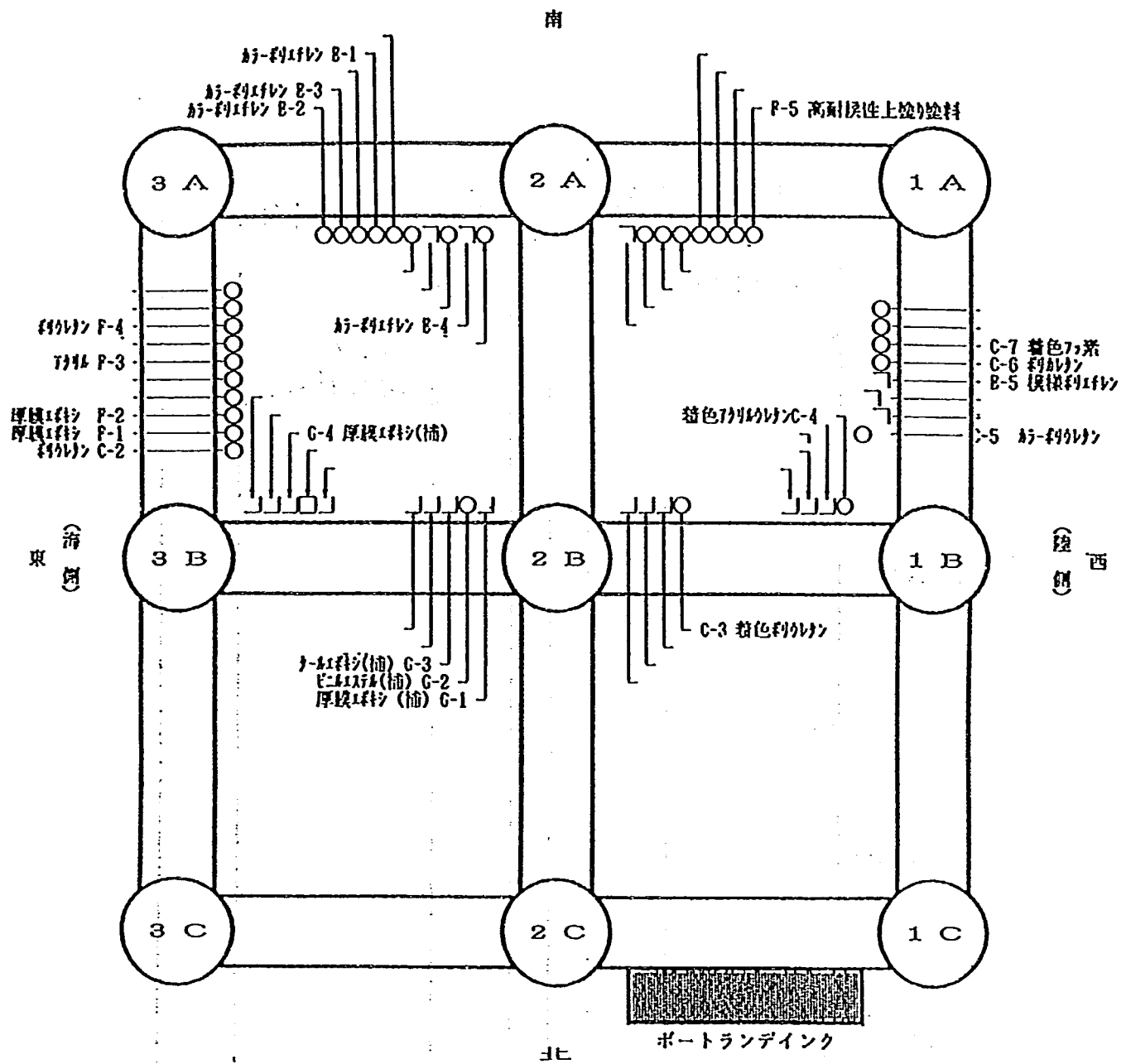


図-4-8 第2次試験材の形状と暴露レベル (研究テーマ3)



(1) 形状

- : 管状
- ┃: 板状
- └: L形状
- : 角パイプ状

(2) 取付年度

- 1990年度: C系
- 1993年度: E, F, G系

図-4.9 研究テーマ3、第2次試験材の暴露配置

4.4.4 試験期間

試験は研究テーマ1および2と同様に1984年3月に暴露を開始し、当初は10年間を予定した。その間、計画にもとづき例年の観察調査と後述する数回の詳細調査を実施した。1990年以降は新しい試験材を追加暴露したので、総合的な試験期間としては当初から20年間を予定している。

4.4.5 調査項目および調査方法

長期的な調査計画は、研究テーマ1および2と同様に当初の10年間に表-4・12に示すようなスケジュールを策定した。内容的には現地での外観観察、測定を主として実施する例年の定期一般調査と、破壊試験を含む定期詳細調査で、その調査項目と調査方法を表-4・13および表-4・14に示す。なお、定期一般調査では、とくに大きい変化のみられない一部の調査項目について省略したことがある。また、第1次試験材では第1回詳細調査年度の1986年8月および第2回詳細調査年度の1989年8月に付着力および素地面観察を実施しており、その剝離箇所は補修を行った。補修部の位置を図-4・10に、補修方法を表-4・15に示す。

表-4・12 各年度の調査計画（研究テーマ3）

年 度	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93
経過年数	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5
調 査	○	○	◎	○	○	◎	○	○	○	◎

年 度	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02	'03
経過年数	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	19.5
調 査	○	◎	○	○	◎	○	◎	○	○	◎

- 注 1. ○：定期一般調査
2. ◎：定期詳細調査（破壊調査を含む）

表-4・13 第1次試験材の調査項目および調査方法（研究テーマ3）

調査項目	調 査 方 法	定期 一般	定期 詳細
外観観察	目視（健全部、異状部）	○	○
外観写真	全景、接写（健全部、異状部）	○	○
生物付着状況	目視、秤量	○	○
塗覆劣化	目視	○	○
膜厚測定	KETT膜厚計、VL-30B型、VソジⅢ（300μm～8mm）	○	○
交流抵抗測定	三田無線㈱、LCRメータ、D-55型（交流0.2, 0.5, 1kHz）	○	○
塗膜ピンホール測定	サコ電子㈱、ホスター I 型（3～12KV）、5KV印加	○	○
塗膜付着力測定	エコー社 アディクションスター（0～70kg/cm ² ）		○
塗膜下素地面観察	目視、写真		○
塗膜剝離部補修	各社仕様による		○
被覆打診	プラスチックハンマーによる打診	○	○

表-4・14 第2次試験材の調査項目および調査方法（研究テーマ3）

調査項目	調 査 方 法	C系	E系	F系	G系	本体
外観観察・写真	目視・全景	○	○	○	○	○
色見本との比較	写真撮影	○				
膜厚測定	KETT科学 VL-30B VソジⅢ（300μm～8mm）					
交流抵抗測定	三田無線 LCRメータ D-55型（交流0.2, 0.5, 1kHz）	○		○		
塗膜ピンホール測定	サコ電子 ホスター I 型（3～12KV）5KV印加					
色差	ミノカワ CR-200	○	○	○		
光沢度	村上色彩研究所 CMX-202	○	○	○		
打診	プラスチックハンマー					○

試験対象

1～3：付着力試験

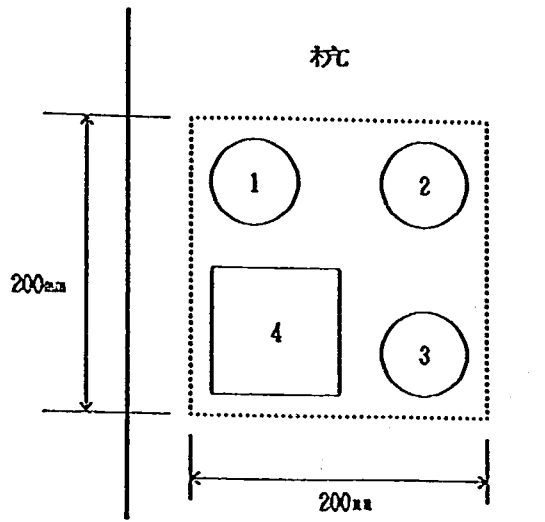
φ (20±α)mm

4：素地面観察

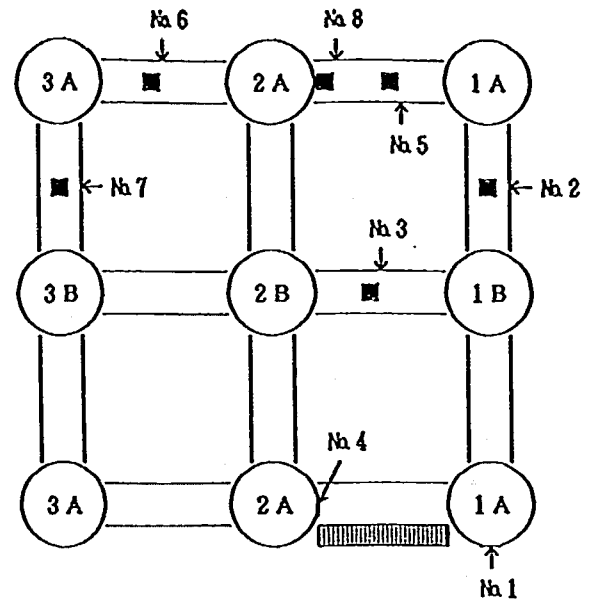
(100×100mm²程度)

点検部：補修部

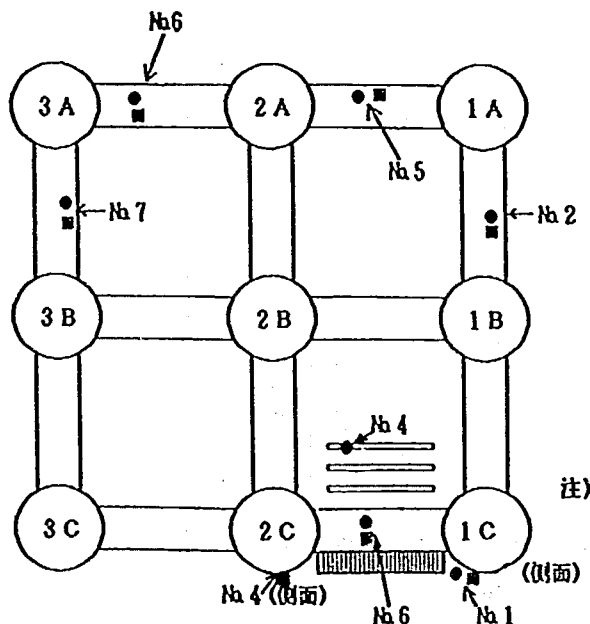
(200×200mm²)



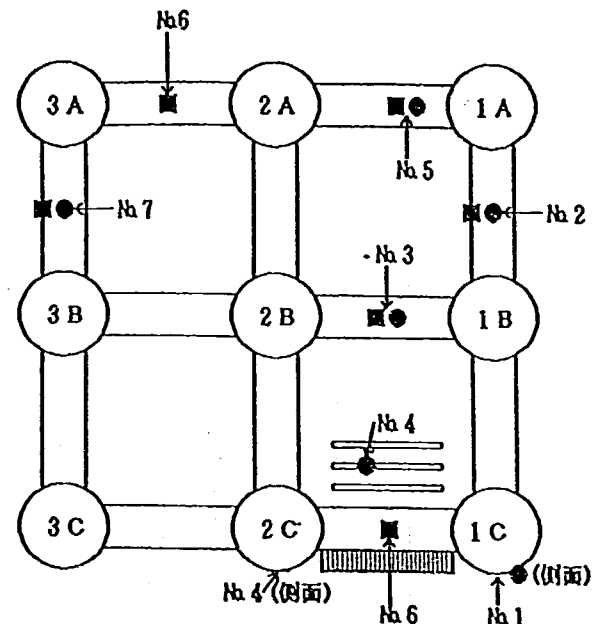
注) №は、防食系№



2年5ヵ月経過後
1986年



9年5ヵ月経過後
1993年



5年5ヵ月経過後
1989年

(研究テーマ3、第1次試験材)
図-4・10 塗膜の付着力・素地面観察および補修箇所

(研究テーマ3、第1次試験材)

防食仕様 No.	施工 位置	防食仕様	対象部	補修方法
1	1 C	ビニルエステル系プライマー (30 μ m) + GF入りビニルエステル (300 μ m × 3 回) + ポリウレタン (30 μ m)	付着力試験部	1. 残った接着剤をサンドペーパー (#40) で除去 2. GF入りビニルエステル樹脂塗料を塗布 3. マイラーフィルムで覆う 4. 硬化後、フィルムを除去 5. 仕上げ塗料としてアクリル・ウレタン樹脂塗布
			索地面観察部	1. 戻りさび防止のため観察後直ちにGF入りビニルエステル樹脂塗料を一回はけ塗り 2. 以下付着力試験部補修と同じ
2	1A-1B	有機ジンクリッチ (75 μ m) + GF入りポリエステル (3 回塗り、1400 μ m)	付着力試験部 索地面観察部	1. サンドペーパー (#80) で面荒らし 2. アセトン拭き 3. GF入りポリエステル樹脂塗料をはけ塗り (主剤 100 : 硬化剤 2、塗布量 2.5kg/m ²)
3	1B-2B	ポリエステル系プライマー (60 μ m) + GF入りポリエステル (3 回塗り、1400 μ m)	付着力試験部 索地面観察部	1. 塗膜除去、ちり、ほこり清掃、アセトン拭き 2. プライマー P-77 を塗布 3. GF入りポリエステル樹脂塗料中塗を塗布 4. GF入りポリエステル樹脂塗料上塗を塗布
4	2 C	GF入りエポキシ (3 回塗り、2000 μ m)	付着力試験部 索地面観察部	1. 清水洗いで塩分を除去 2. サンドペーパー (#80) およびナイロンブラシで面荒らし 3. GF入りエポキシ樹脂塗料 2000 μ m × 1 回、コテ塗り

表-4・15(2) 付着力試験部および素地面観察部の補修方法 (1986年度)

(研究テーマ3、第1次試験材)

防食仕様 No.	施工 位置	防 食 仕 様	対象部	補 修 方 法
5	1A-2A	無機ジシクリッチ (75 μ m) + エポキシ系プライマー (30 μ m) + GF入りエポキシ (500 μ m $\times$ 3回)	付着力試験部 素地面観察部	1. サンドペーパーで入念に研磨 2. 水中硬化型エポキシ樹脂塗料をはけ塗り
6	2A-3A	有機ジシクリッチ (15 μ m) + エポキシ (2000 μ m)	付着力試験部 素地面観察部	1. 素地、塗膜面をサンドペーパーで研磨 2. シンナーで洗浄 3. 厚膜型エポキシ樹脂塗料を約2000~3000 μ mにヘラで塗装
7	3A-3B	ポリウレタン系プライマー (25 μ m) + ポリウレタン (2000 μ m) + ポリウレタン (30 μ m)	付着力試験部 素地面観察部	1. 周辺塗膜端面のテーパー付け 2. サンドペーパーで面荒らし、シンナー拭き 3. ポリウレタン系プライマー 4. 補修用ポリウレタン、はけ塗り 5. ポリウレタン、はけ塗り
8	2A	エポキシ系プライマー (25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル (2000 μ m) + ポリウレタン (50 μ m)	付着力試験部 素地面観察部	1. 残存塗膜を剝離 2. サンドペーパー処理、面荒らし、周辺塗膜端面のテーパー付け 3. 被塗面清掃 4. 無溶剤型エポキシ樹脂塗料をウェットハンド法およびヘラで塗布 ブルー色、膜厚4~6mm、周辺部は残存塗膜に20~30mm重ね塗り

表-4-15(3) 付着力試験部および素地面観察部の補修方法 (1989年度)

(研究テーマ3、第1次試験材)

防食仕様 No.	施工 位置	防 食 仕 様	補 修 方 法
1	1 C	ビニルエステル系プライマー (30 μ m) + GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3 回) + ポリウレタン (30 μ m)	1. スプレイダムT-300 (昭和高分子製アクリル樹脂系水中硬化型塗料) を刷毛にて約 3 mm厚に塗布 2. リポキシフレークコンパウンドFC83Pグリーン (86年塗装と同一タイプ) を塗布して自然硬化した
2	1A-1B	有機ジソクリッチ (75 μ m) + GF入りポリエステル (3 回塗り 1400 μ m)	1. サンドペーパー (#80) で面荒らし 2. アセトン拭き 3. GF入りポリエステル樹脂塗料を刷毛ぬり (主剤100 : 硬化剤2、塗布量2.5 kg/m ²)
3	1B-2B	ポリエステル系プライマー (60 μ m) + GF入りポリエステル (3 回塗り 1400 μ m)	1. 溶剤拭き 2. プライマーP-77塗布 3. 指触乾燥後 #252 中塗塗布 4. 指触乾燥後 #252 上塗塗布
4	2 C	GF入りエポキシ (3 回塗り 2000 μ m)	1. 素地調整: サンドペーパーで軽く研磨 2. 上塗 : パーマックスNo.3000K 2000 μ m)
5	1C-2A	無機ジソクリッチ (75 μ m) + エポキシ系プライマー (30 μ m) + GF入りエポキシ (500 μ m $\times$ 3 回)	1. 素地調整: サンドペーパー処理 2. 錆面用補修エポキシ樹脂塗料を刷毛塗り
6	1C-2C 2A-3A	有機ジソクリッチ (15 μ m) + エポキシ (2000 μ m)	1. 素地、塗膜面をサンドペーパーで研磨 2. シンナーで洗浄 3. 厚膜型エポキシ樹脂塗料を約2000~3000 μ mにヘラで塗装
7	3A-3B	ポリウレタン系プライマー (25 μ m) + ポリウレタン (2000 μ m) + ポリウレタン (30 μ m)	1. 周辺塗膜端面のテーパー付け 2. サンドペーパーで面荒らし、シンナー拭き 3. ポリウレタン系プライマー 4. 補修用ポリウレタン、はけ塗り 5. ポリウレタン、はけ塗り

5. 試験材の暴露および回収の経過

5.1 試験材の種類

試験材は1984年の開始当初から暴露されているものを第1次試験材と呼び、開始後、それぞれの目的で追加供試されたものをすべて第2次試験材と呼ぶことにした。それらの内容は表-5・1に示すように試験目的あるいは供試年度ごとに記号および№で分類された。

また、試験材の防食仕様による分類を表-5・2および表-5・3に示した。

表-5・1 試験材の記号別分類

材		研究テーマ1			研究テーマ2			研究テーマ3		
		系	No.	本	系	No.	本	系	No.	本
第1次	1984	A系	A1～A13	30	B系	B1～5	24	本体	No.1～12	21
第2次	1989	A系	A1～6 A1～7	2 ^{*1}						
	1990							C系	C2～7	6
	1991	A系	A1～8 A1～9	2 ^{*1}						
		A系	A14	1						
		C系	C1 ^{*3}	1						
	1993	D系	D3～5	3	D系	D1～2	2 ^{*2}			
		D系	D6～8	3 ^{*1}				E系	E1～3 E5	4
								F系	F1～5	5
								G系	G1～4	4 ^{*4}
								本体	NO. 12	5

(注)

- 1) *1はSUS電気防食
- 2) *2は耐海水鋼+塗装+電防
- 3) *3はチタン+塗装+電防
- 4) *4は補修

表-5・2 研究テーマ1および2の試験材の内容

金属材料

(本)

内 容		隙間付与	テーマ1		テーマ2	
			1次	2次	1次	2次
ステンレス鋼	ステンレス鋼	○	14			
	2相ステンレス鋼	○	6			
	耐海水ステンレス鋼	○		3		
	SUS316L+電防	○		4		
	SUS304+電防			3		
クラッド鋼	SUS316L	○	1			
	9-1キュプロニッケル	○	2	1		
	モネル	○	2			
	チタン+塗装+電防			1		
耐海水鋼	耐海水鋼				6	
	耐海水鋼+塗装				8	
	耐海水鋼+塗装+電防					2
比較材	普通鋼				6	
	普通鋼+塗装				4	
	溶射+塗装、 亜鉛めっき+塗装		2			
チタン	チタン	○	3			
計			30	12	24	2
			42		26	

表-5.3 研究テーマの試験材の内容

塗覆装材材料

(箇所または本)

内 容		テーマ 3	
		1次	2次
GF入りビニルエステル		1	
GF入りポリエステル		6	
GF入りエポキシ		3	
厚膜エポキシ		3	
厚膜ウレタン		3	
エポキシ系レジンモルタル		6	
ペトロラタム+FRPカバー		14	5
エポキシ+防汚塗料		1	
エポキシ+防汚テープ		1	
ゴム系粘着材+FRPカバー		4	
ポリエチレン			7
ポリウレタン+ふっ素塗料			1
ポリウレタン+アクリルウレタン			2
アクリル+(ふっ素・シリコン)塗料			1
超厚膜エポキシ			2
アクリル			1
ポリウレタン			1
エポキシ + シリコン			3
ふっ素			
ポリウレタン			
補 修	超厚膜エポキシ+水中硬化エポキシ		1
	着色ビニルエステル+着色ビニルエステル		1
	タールエポキシ+アクリル		1
	GF入りエポキシ + 無溶剤エポキシ 防食シート		1
合 計		42	27

第1次試験材は施設本体に施工

第2次試験材は管状または板状の試験片

5.2 試験材の設置および回収

(I) 研究テーマ1および研究テーマ2

表-5.4に暴露試験開始後の試験材の一時撤去、再設置、回収等の経過をまとめ、表-5.5にはそれらを経年的に示した。1986年度、1989年度、1990年度、1991年度、1993年度には詳細調査を実施したので試験材を回収した。1989年、1991年度、1993年度には第2次試験材の暴露を開始した。電気防食試験はそれらの年度からそれぞれ2年間実施している。

すでに1984年の試験開始時の試験材配置を前章で図示したが、図-5.1～図-5.4には主として回収や配置が行われた直後の状態として1986年度、1989年度、1991年度、1993年度の状況を示す。とくに図-5.4は1994年度調査後の現況を示す。

(2) 研究テーマ3

研究テーマ3では第1次試験材は施設本体への施工ということで、すでにその配置を前章の図-4・6～図-4・7に示した。第2次試験材は1993年度にそれぞれ単独の試験材として供試したが、これもすでに前章で開始時の状態として図-4・8～図-4・9に示した。図-5・4には他のテーマの試験材とともに1994年度調査後の現況を示す。

表-5・4 試験材の設置および回収の経過

(研究テーマ1および2)

(第1次および第2次試験材)

年度	経 過	試 験 材	本数
1986	一時撤去		
	a. 隙間付与材、生物付着部の観察	A-1-3, A-2-3, A-3-3 A-4-3, A-13-B, A-13-C	6
	b. 腐食状況、生物付着部の観察	A-8-1, A-10-1 A-11-1, A-13-A	4
	撤去回収	B-1-1, B-4-1	2
1987	一時撤去、隙間付与後再設置	A-5, A-7-1, A-8-2 A-9-1, A-10-2, A-11-2, A-13-A	7
1989	一時撤去、隙間付与後再設置 隙間付与材、生物付着部の観察	A-1-3, A-2-3, A-3-3, A-4-3, A-5, A-7-1, A-8-2, A-9-1, A-10-2, A-11-2, A-13-A	11
	撤去回収	A-1-1, B-1-2, B-2-1, B-3-1, B-4-2, B-5-1	6
	新規取付	A-1-6, A-1-7	2
1990	撤去回収	A-11-1, B-1-6	2
1991	撤去回収	A-1-6, A-1-7	2
	新規取付	C-1, A-14, A-1-8, A-1-9	4
1993	撤去回収	A-1-2, A-1-3, A-2-1, A-2-3, A-3-1, A-3-3, A-4-1, A-4-3, A-5, A-7-1, A-8-2, A-9-1, A-10-2, A-11-2, A-13-A A-1-8, A-1-9 B-1-3, B-4-3 B-2-2, B-3-2, B-5-2	22
	新規取付	D-1~D-8	8

表-5・5 試験材の設置および回収の経過

(研究テーマ1 および 2)

1次試験材	○隙間付与 ●回収	◎隙間再付与（再設置） ▲一時撤去観察（再設置）
2次試験材	□設置	◇隙間付与 ◆隙間付与材の回収

※：詳細調査年

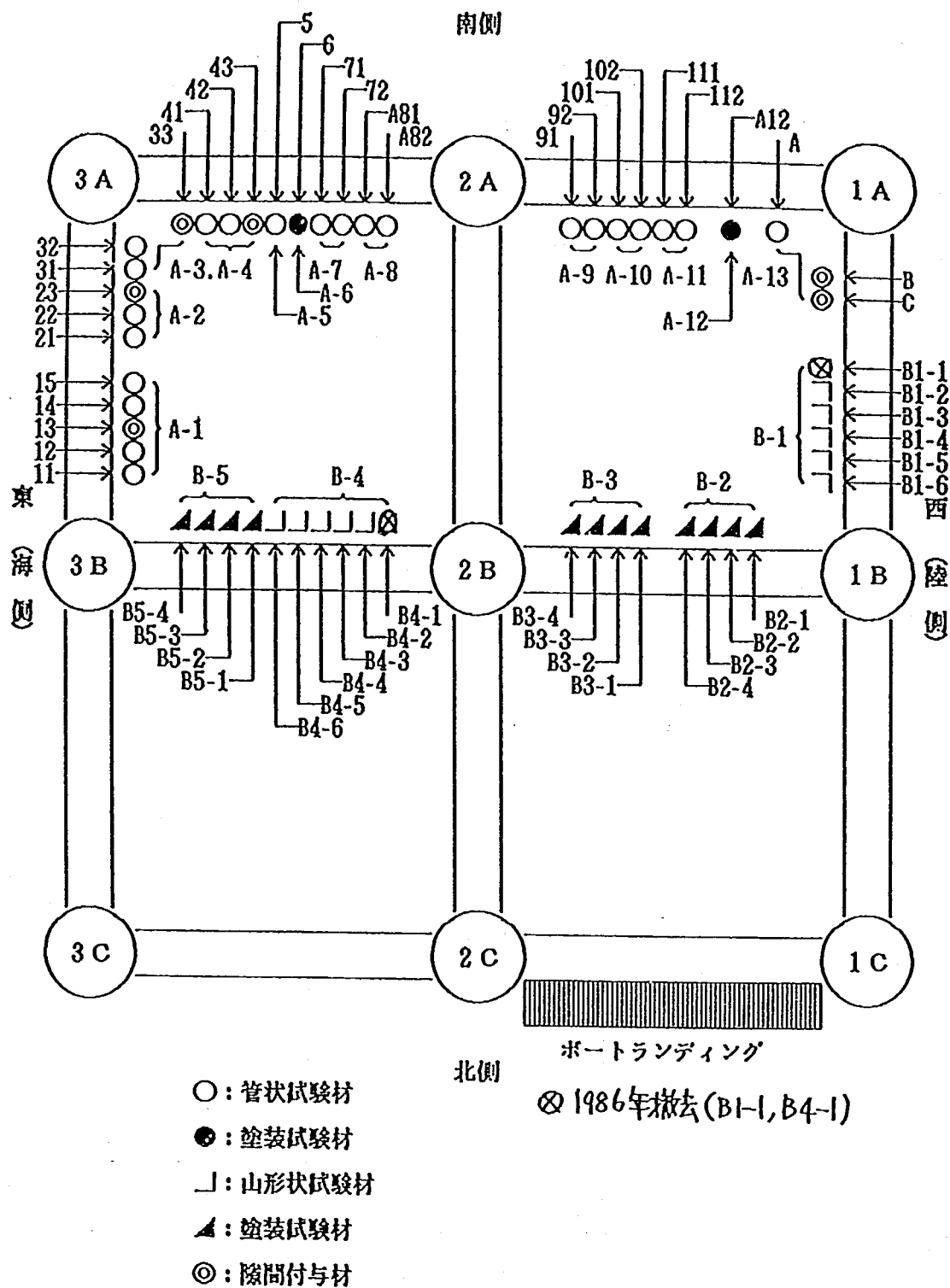
次	系	本数	1984 0.5年	1985 1.5年	1986 ※ 2.5年	1987 3.5年	1988 4.5年	1989 ※ 5.5年	1990 6.5年	1991 7.5年	1992 8.5年	1993 ※ 9.5年
1	A-1	5	Λ-1-3 ○		Λ-1-3 ▲◎			Λ-1-3 ▲◎ Λ-1-1 ● Λ-1-6 ◇ Λ-1-7 ◇				Λ-1-3 ● Λ-1-2 ●
		1								Λ-1-6 ◆		
		1								Λ-1-7 ◆		
		1								Λ-1-8 ◇		Λ-1-8 ◆
		1								Λ-1-9 ◇		Λ-1-9 ◆
	A-2	3	Λ-2-3 ○		▲◎			▲◎				Λ-2-3 ● Λ-2-1 ●
	A-3	3	Λ-3-3 ○		▲◎			▲◎				Λ-3-3 ● Λ-3-1 ●
	A-4	3	Λ-4-3 ○		▲◎			▲◎				Λ-4-3 ● Λ-4-1 ●
	A-5	1				Λ-5 ▲○		▲◎				Λ-5 ●
	A-7	2				Λ-7-1 ▲○		▲◎				Λ-7-1 ●
	A-8	2			Λ-8-1 ▲	Λ-8-2 ▲○		▲◎				Λ-8-2 ●
	A-9	2				Λ-9-1 ▲○		▲◎				Λ-9-1 ●

※：詳細調査年

次	系	本 数	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
			0.5年	1.5年	※ 2.5年	3.5年	4.5年	※ 5.5年	6.5年	7.5年	8.5年	※ 9.5年
1	A-10	2			A-10-1 ▲	A-10-2 ▲○		▲◎				A-10-2 ●
	A-11	2			A-11-1 ▲	A-11-2 ▲○		▲◎	A-11-1 ●			A-11-2 ●
	A-13	3			A-13-A ▲	▲○		▲◎				A-13-A ●
2	A-14	1								A-14 □		
	C-1	1								C-1 □		
1	B-1	5			B-1-1 ●			B-1-2 ●	B-1-6 ●			B-1-3 ●
	B-2	4						B-2-1 ●				B-2-2 ●
	B-3	4						B-3-1 ●				B-3-2 ●
	B-4	5			B-4-1 ●			B-4-2 ●				B-4-2 ●
	B-5	4						B-5-1 ●				B-5-2 ●
2	D-1	1										D-1 ◇
	D-2	1										D-2 ◇
	D-3	1										D-3 ◇
	D-4	1										D-4 ◇
	D-5	1										D-5 ◇
	D-6	1										D-6 ◇
	D-7	1										D-7 ◇
	D-8	1										D-8 ◇

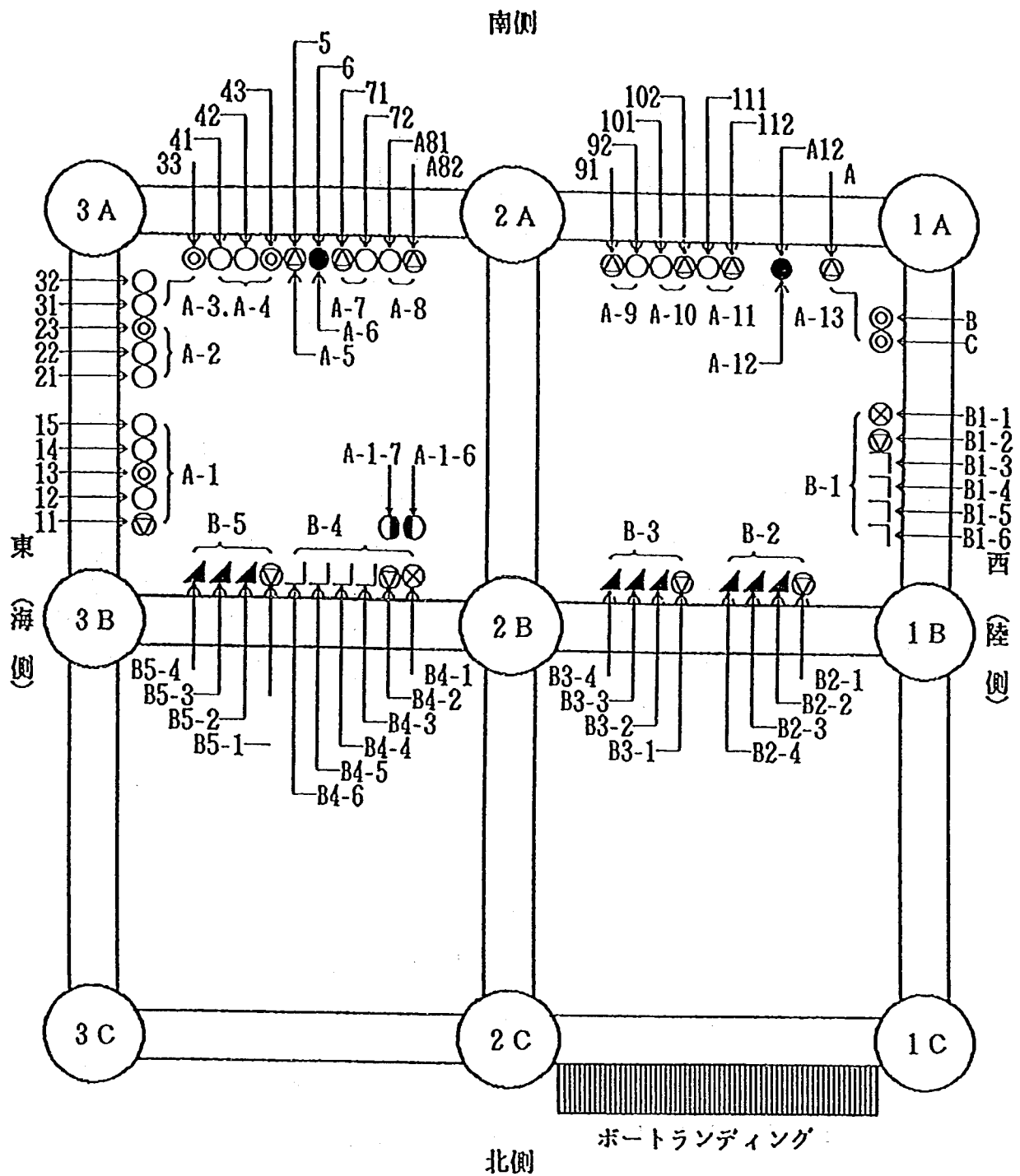
電気防食片：A-1-7, A-1-8, A-1-9, D-7, D-8

非電気防食片（比較用）：A-1-6, D-6



注) 外周引出し線の記号数字は、系内の試験材を示す。

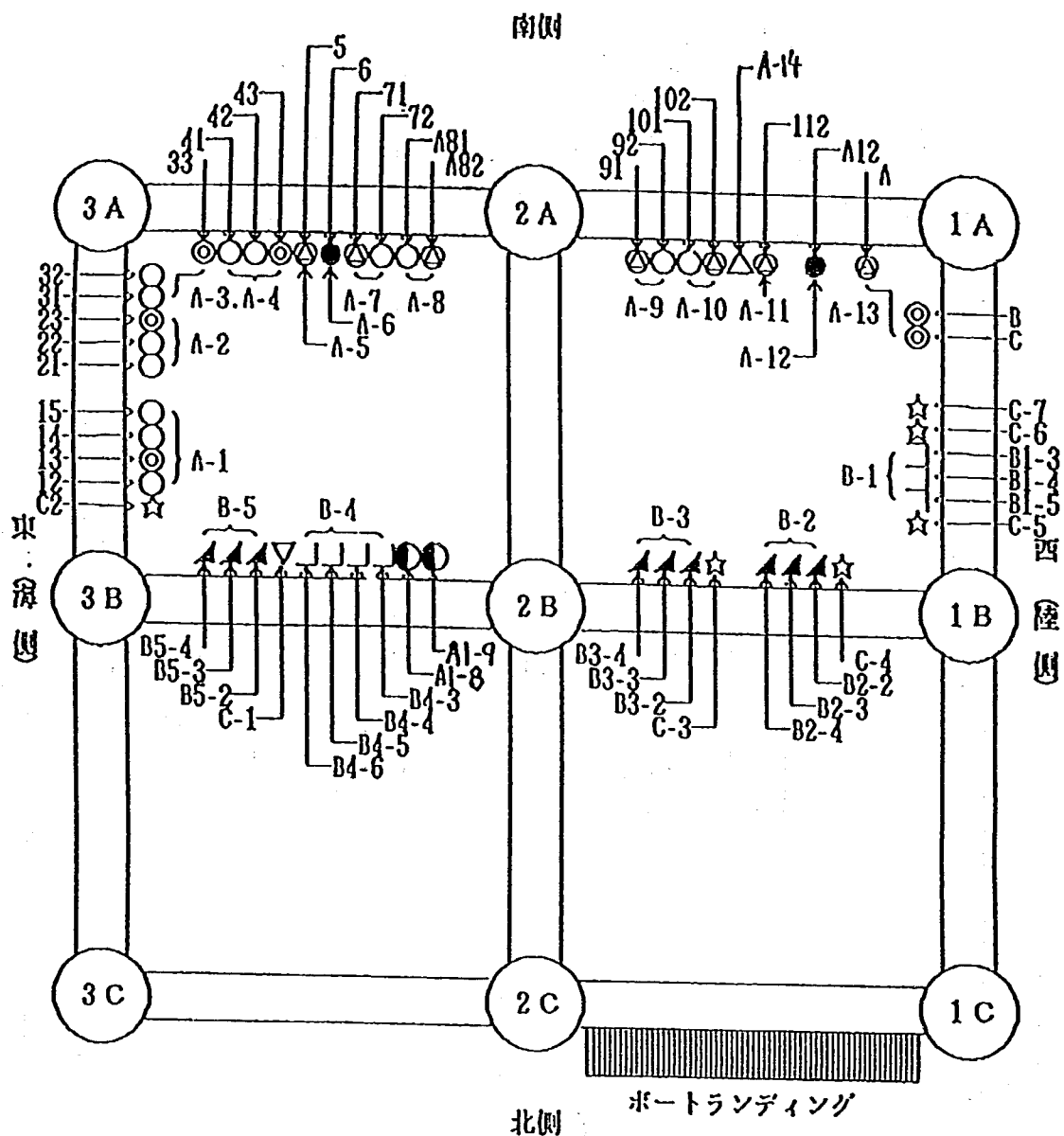
図-5.1 各試験材の配置 (1986年、2.5年経過後)



- | | |
|--------------|---|
| ○ : 無塗装管試験材 | ◎ : 1984年3月隙間付与管試験材 |
| ● : 塗装管試験材 | △ : 1987年隙間付与管試験材 |
| ┌ : 無塗装L形試験材 | ⊗ : 1986年撤去 (B1-1、B4-1) |
| ▲ : 塗装L形試験材 | ⊙ : 1989年撤去 (A1-1、B1-2、B2-1、B3-1、B4-2、B5-1) |
| | 1989年度新規取付 |
| | ● : 電防試験材 (A-1-7) |
| | ○ : 非電防試験材 (A-1-6) |

注) 外周引出し線の記号数字は、系内の試験材を示す。

図-5.2 各試験材の配置 (1989年、4.5年経過後)



- | | |
|---------------------|-------------------|
| ○ : 無塗装管試験材 | ┐ : 無塗装L形試験材 |
| ● : 塗装管試験材 | ▲ : 塗装L形試験材 |
| ◎ : 1984年3月隙間付与管試験材 | ⊙ : 1987年隙間付与管試験材 |

☆ : 1990年度新規取付け

C-3 : 着色リキレン

C-5 : 着色リキレン

C-7 : 水中硬化型シリコン+着色色素・シリコン共重合樹脂塗料

1991年度新規取付け

① A-1-8, A-1-9 : 電気防食板

△ A-14 : キュボニッケル

▽ C-1 : テフラコート+塗装+電気防食板

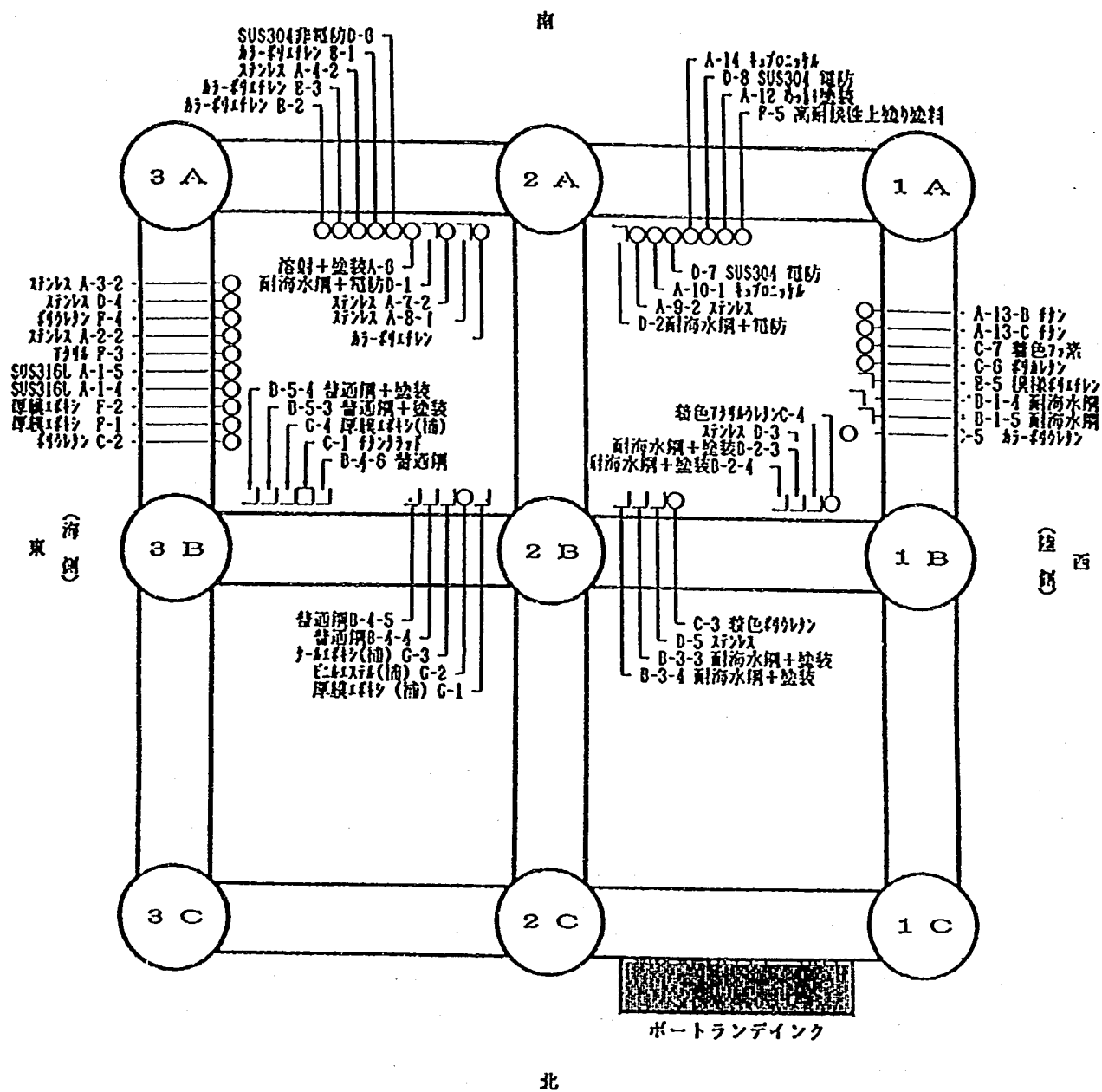
C-2 : リキレン(黒)+着色色素樹脂塗料

C-4 : リキレン(黒)+着色アクリル樹脂塗料

C-6 : 改良リキレン

注) 外周引出し線の記号数字は、系内の試験材を示す。

図-5-3 各試験材の配置 (1991年、6.5年経過後)



次 \ 7-1	1	2	3
1	A 1～13	B 1～5	本 体
2	A 14 C 1 D 3～8	D 1～2	C 2～7 E 1～3, 5 F 1～5 G 1～4 本体

図-5.4 試験材の配置 (1994年度調査後)

6. 調査結果および考察

6.1 環境調査

この試験の暴露場所は、前述のように比較的温暖な気象であるが、波浪の影響はかなり大きく、研究施設は常時うねりが寄せ、風速が増すと第3デッキまで波をかぶっている。さらに波浪の大きいときは、漂砂の影響が施設の海中部材におよんでいる。

うねりとして研究施設に影響を与える日本近海の台風の襲来は年間15～20回を数え、そのうち研究施設に接近あるいは直接襲来して影響を与えるものが年4～6回程度である。

表-6・1にこれまでに調査した海水水質の分析・測定結果を示す。試験期間を通じて各項目とも大きな変動はみられなかった。研究施設付近の海水は、例年の調査結果から標準的な清浄海水とみることができる。

6.2 研究テーマ1

1984年3月試験開始以来、約10年（9年5ヵ月）経過した1993年7月～8月の調査結果は次のとおりである。

6.2.1 外観

試験材の外観観察は目視により行った。試験材の表面状況の観察結果は所定の記録票（I）に記入した。記録票では、暴露配置の四周（四辺）の内側および外側から正対した面の表面状況をスケッチした。方向は東西南北で示した。試験材が管状あるいは山形状（L字形）なので、内側あるいは外側のいずれかの面で試験材表面の片側（各1/2）が記録されるように展開図として示した。これらの記録票は外観写真とともに別冊にまとめた。表-6・2には9年5ヵ月経過後の試験材の外観観察結果を示す。

施設本体に取付けた状態での外観観察の結果は、初期より今年度までほとんど変化はなかった。試験材で特徴あるものを述べると、A-7（25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.）は、試験開始当初より他のステンレス鋼材に比べて黒みがかかった外観を呈し、また9-1キューブニッケル系のA-10（88Cu-9Ni-Fe-Mn）と1991年度に試験を開始したA-14は1年後の観察時点から飛沫帯は緑色を呈していた。さらにA-11（モネル65Ni-31Cu）には、全面に緑色の腐食生成物が点在していた。その他の試験材にはとくに異状がなかった。

表-6・1 現地海水の水質測定結果

項目	位置	年度		1985年2月27日		1985年11月21日		1986年7月29日		1987年12月16日		1988年8月6日		1989年10月25日		1990年10月18日		1991年11月17日		1992年7月28日		1993年10月22日		標準 淨海水 (一例)
		表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	
水素イオン濃度	pH	8.0	8.0	7.9	8.1	8.2	8.2	8.1	8.1	8.0	8.1	8.1	7.8	8.2	8.2	8.1	8.2	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
比抵抗	Ωcm	21.4	21.4	22.2	22.1	23.8	23.1	18.9	19.0	21.3	20.8	22.0	22.1	23.6	22.9	23.0	22.0	24.0	23.0	24.0	24.2	24.2	24.2	20~25
溶存酸素	ppm	8.8	8.9	7.2	6.8	6.8	7.0	6.8	7.5	7.2	7.7	7.9	8.0	7.1	7.8	7.4	7.8	8.7	7.3	6.8	6.9	6.9	6.9	7~8
塩素イオン濃度	ppm	19300	18900	19300	19300	19600	17000	19200	17000	19500	20100	18500	18600	18000	18700	18700	18600	17000	18600	18850	18950	18950	18950	18900
硫酸イオン濃度	ppm	2720	2740	2920	2930	2420	2570	2630	2560	2520	2640	2800	2800	2530	2590	2360	2320	2350	2450	2625	2517	2517	2517	2600
水温(現地)	℃	13.8	12.8	14.9	13.2	26.2	25.5	17.0	17.5	24.3	24.0	19.2	19.3	22.2	23.2	18.1	17.5	26.4	25.2	21.4	21.2	21.2	21.2	—

表-6・2 試験材の外観（研究テーマ1）

（1993年度9年5カ月後）

№	防食施工法	防食仕様	被覆厚さ (mm)	暴露状態の外観観察 (飛沫帯～干満帯)
A-1	ステンレス鋼板溶接	SUS316L(17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	3	異状なし
A-2	ステンレス鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	3	異状なし
A-3	ステンレス鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	3	異状なし
A-4	ステンレス鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.	3	異状なし
A-5	ステンレス鋼板込み圧延クラッド	SUS316L(17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	3	異状なし
A-6	溶射+塗装	Zn-13Al(200μm)+ウレタンプライマー+ウレタン樹脂塗料(4mm)	4	異状なし
A-7	素管、二相ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	10*	表面黒がかった色、その他異状なし
A-8	素管、二相ステンレス鋼	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	9.6*	異状なし
A-9	素管、二相ステンレス鋼	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	12.7*	異状なし
A-10	キュプロニッケル板溶接	9-1+キュプロニッケル(88Cu-9Ni-Fe-Mn)	2	飛沫帯は緑色の腐食生成物 干満帯は一部茶褐色の腐食生成物
A-11	モネル圧延クラッド	モネル(NiCuP, 65Ni-31Cu)	3	全面に斑点状の緑色の腐食生成物 一部の溶接線に緑色の腐食生成物
A-12	溶射めっき+塗装	Zn(130μm)+エポキシ系プライマー(30μm)+GF入りビニルエステル樹脂塗料(500μm×3回)	1.66	異状なし
A-13	チタン板溶接	純チタン(管) JIS2種、TP35C	3	異状なし
		純チタン+純チタン(板)**	3	
		純チタン+チタン合金(板)***	3	
A-1-	素管(SUS316L)	SUS316L+電気防食****	7.1*	異状なし
A-1-	素管(SUS316L)	SUS316L+電気防食****	7.1*	異状なし
A-14	キュプロニッケルクラッド	9-1キュプロ	2	飛沫帯は緑色の腐食生成物 干満帯は一部茶褐色の腐食生成物
C-1	チタンクラッド	チタン	1	異状なし

注(1)*素管肉厚

(2)**純チタンTP35C板巻材に、TP35C、TP45C、TP28C、ASTM Gr4の各純チタン試験片を溶接

(3)***純チタンTP35C板巻材に、チタン合金Ti-3Al-2.5V、Ti-0.3Mo-0.8Ni、Ti-6Al-4Vの各試験片を溶接

(4)****電気防食は研究施設本体(電防中)と接続、93年8月に回収

6.2.2 生物付着状況

試験材の生物付着状況の観察結果は、前述の記録票（I）に記入した。付着生物は主として、フジツボ、イガイ、カキ類、藻類等で付着位置は、H、W、L以下であった。海水が清浄であるため、付着生物も普通の状態と考えられた。

参考として、表-6・3に1993年度までの生物付着量の重量を示した。採取位置は、海中部水平材の上方700mm (TP-700mm)で、年度毎に異なるように配慮した100mm×100mmの範囲の生物をプラスチックヘラで採取し、kg/m²に換算した。

試験材上端部から水線部付近までの外観観察では、ステンレス鋼系、モネル、塗装系試験材は、HWL付近から水線部の間で生物付着がみられるが、9-1キュープロニッケルのA-10-1およびA-14は生物の付着がほとんど認められなかった。とくにA-10-1の生物付着の傾向は、試験を1984年から開始して9年5ヵ月経過しているがこの間で大きな変化はなかった。

その他の試験材には生物が付着しているが、昨年度と大きな変化はなかった。

6.2.3 塗膜の膜厚、交流抵抗およびピンホール

金属被覆+塗装材のA-6およびA-12の2本の試験材については、膜厚、交流抵抗、ピンホールを測定した。測定は、管状材の配置状態での内側面を対象とした。

膜厚、および交流抵抗の測定は、各試験材の上端部より下方500mmの位置で行なった。ピンホールの測定は、上端部より下方500mmまでの範囲について赤錆等の外観に異状がない部分を対象とした。

交流抵抗測定の方法としては、50mm×50mmを測定面積とするアルミニウムの箔電極をはりつけ、試験材と間の抵抗を計測した。箔のはりつけにはCMCと海水を練ったペーストを用いた。

表-6・4に測定結果を示した。膜厚、交流抵抗測定結果は経時的な変動がみられるものの塗膜劣化を示す状態には至っていないと考えられる。また、ピンホールも検出されなかった。

表-6・3 金属被覆系試験材の生物付着量（研究テーマ1）

（単位：kg/m²）

注) (1)100×100(mm)の面積を採取、kg/m²に換算
 (2) () 内採取位置
 (3)採取直後と乾燥後の測定日

防食系	防食仕様	1984年 (0.5年後)		1985年 (1.5年後)		1986年 (2.5年後)			1987年 (3.5年後)		
		試験材	採取直後	試験材	採取直後	試験材	採取直後	乾燥後	試験材	採取直後	乾燥後
A-1	SUS316L 17Cr-12Ni-2Mo-L.C.	A-1-1 (西)	7.5	A-1-2 (西)	44	A-1-3 (西)	10	2.5	A-1-4 (西)	4.9	2.7
A-3	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	A-3-2 (西)	5.0	A-3-1 (西)	33	A-3-3 (北)	58	28.8	A-3-2 (東)	11.9	6.7
A-7	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	A-7-1 (北)	2.5	A-7-2 (北)	5	A-7-1 (南)	65	28.9	A-7-2 (南)	3.4	1.2
A-10	9-1 キュプロニッケル	A-10-2 (北)	0.5	A-10-1 (北)	0	A-10-2 (南)	1.0	0.5	A-10-1 (南)	1.9	0.1
A-11	モネル	A-11-2 (北)	6.0	A-11-1 (北)	10	A-11-2 (南)	25	7.7	A-11-1 (南)	12.9	6.8

年	採取直後	乾燥後
1984年	1984年8月8日	——
1985年	1985年8月11日	——
1986年	1986年7月25日	1986年12月2日
1987年	1987年8月5日	1987年11月20日
1988年	1988年8月5日	1988年11月30日
1989年	1989年7月25日	1989年11月6日
1990年	1990年8月26日	1990年10月18日
1991年	1991年7月16日	1991年10月14日
1993年	1993年10月21日	1993年11月18日

防食系	防食仕様	1988年 (4.5年後)			1989年 (5.5年後)			1990年 (6.5年後)			1991年 (7.5年後)			1993年 (9.5年後)		
		試験材	採取直後	乾燥後	試験材	採取直後	乾燥後	試験材	採取直後	乾燥後	試験材	採取直後	乾燥後	試験材	採取直後	乾燥後
A-1	SUS316L 17Cr-12Ni-2Mo-L.C.	A-1-5 (西)	29.5	12.5	A-1-1 (東)	41.5	19.0	A-1-2 (東)	26.5	13.6	A-1-3 (東)	48.5	27.0	A-1-4 (東)	28.0	11.0
A-3	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	A-3-1 (東)	13.5	4.0	A-3-3 (南)	32.5	16.0	A-3-2* (西)	3.5	1.4	A-3-1* (西)	27.5	13.0	A-3-2 (東)	55.0	32.0
A-7	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	A-7-1 (北)	39.5	16.0	A-7-2* (北)	48.5	24.0	A-7-1* (南)	1.0	0.2	A-7-2* (南)	41.5	29.5	A-7-2 (北)	9.0	5.0
A-10	9-1 キュプロニッケル	A-10-2 (北)	15.5	6.0	A-10-1* (北)	1.0	0.7	A-10-2* (南)	0.1	0.1	A-10-1 *(南)	0.0	0.0	A-10-1 (北)	0.1	0.05
A-11	モネル	A-11-2 (北)	67.5	32.0	A-11-1* (北)	93.5	51.1	A-11-2* (南)	14.5	8.4	A-11-2* (南)	23.5	19.5	——	——	——

(*) 採取位置は、従来の位置から10cm上で実施

表-6-4 塗膜、交流抵抗、ピンホール測定結果 (研究テーマ1)

No	施工法	防食仕様	1984年 (0.5年後)			1985年 (1.5年後)			1986年 (2.5年後)			1987年 (3.5年後)		
			膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール	膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール	膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール	膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール
A-6	溶射 塗装	Zn-13A1(200μm) + ウレタンプライマー + ウレタン樹脂塗装(4mm)	3000			2600			2900			2900		
			3000	5.58×10 ⁴	なし	3000	7.65×10 ⁴	なし	2700	1.80×10 ⁴	なし	3000	3.46×10 ⁴	なし
			3000			2800			2800			3150		
A-12	溶融めっき 塗装	Zn(130μm) + エポキシ系プライマー(30μm) + GP入りエポキシ樹脂塗料(500μm×3回)	1400			1350			1400			1400		
			1450	3.39×10 ⁴	なし	1350	1.35×10 ⁴	なし	1320	9.66×10 ³	なし	1450	3.92×10 ⁴	なし
			1400			1100			1450			1500		

No	施工法	防食仕様	1988年 (4.5年後)			1989年 (5.5年後)			1990年 (6.5年後)				1991年 (7.5年後)			
			膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール	膜厚 μm	交流抵抗 1KHz (Ωcm)	ピンホール	膜厚 μm	交流抵抗 (2cm)			膜厚 μm	交流抵抗 (Ωcm)		
										(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)		(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
A-6	溶射 塗装	Zn-13A1(200μm) + ウレタンプライマー + ウレタン樹脂塗装(4mm)	2800			2700			2900				2800			
			2900	6.28×10 ⁴	なし	2750	4.21×10 ⁴	なし	2900	2.69×10 ⁴	1.08×10 ⁴	6.00×10 ⁴	2850	1.37×10 ⁴	7.28×10 ⁴	4.73×10 ⁴
			2900			2600			3100				2700			
A-12	溶融めっき 塗装	Zn(130μm) + エポキシ系プライマー(30μm) + GP入りエポキシ樹脂塗料(500μm×3回)	1400			1400			1500				1450			
			1400	4.75×10 ⁴	なし	1350	3.31×10 ⁴	なし	1500	1.36×10 ⁴	4.64×10 ⁴	2.99×10 ⁴	1450	5.38×10 ⁴	2.75×10 ⁴	1.69×10 ⁴
			1400			1350			1500				1350			

No	施工法	防食仕様	1992年 (8.5年後)				1993年 (9.5年後)			
			膜厚 μm	交流抵抗 (2cm)			膜厚 μm	交流抵抗 (Ωcm)		
				(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)		(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
A-6	溶射 塗装	Zn-13A1(200μm) + ウレタンプライマー + ウレタン樹脂塗装(4mm)		2.34×10 ⁴	9.91×10 ⁴	5.76×10 ⁴	2900			
							2800	2.35×10 ⁴	9.86×10 ⁴	5.29×10 ⁴
							2900			なし
A-12	溶融めっき 塗装	Zn(130μm) + エポキシ系プライマー(30μm) + GP入りエポキシ樹脂塗料(500μm×3回)		5.10×10 ⁴	2.69×10 ⁴	2.53×10 ⁴	1500			
							1500	5.79×10 ⁴	3.35×10 ⁴	2.19×10 ⁴
							1500			なし

6.2.4 回収試験材の詳細調査

1993年度は曝露開始10年目にあたるので、研究テーマ1では9年5か月経過の時点で予め計画されたいいた15本の試験材を回収し、観察と測定による詳細調査を実施した。

(1) 調査方法

試験材の金属表面に傷をつけないように付着生物を落とし、隙間付与試験材では隙間付与材（粘着材付きポリエチレン収縮チューブ）を除去した。腐食調査としては、隙間付与部での隙間腐食と隙間を付与しない暴露表面での腐食の発生を確認した。試験材は干満帯部および海中部がほぼ全面的に付着した貝で覆われていたので、隙間を付与しない表面は付着生物下の観察となった。腐食の発生形態はいずれも局部的で、計測は腐食発生箇所数と局部腐食の大きさ（深さ×たて×よこ）とし、その他には異常があれば記録した。

(2) 調査結果

調査結果は飛沫帯・干満帯・海中部の環境別、人工隙間付与部とその他の部分の別、溶接部と母材部等に区別して局部腐食の発生状況を比較表示した。表-6・5には局部腐食の発生数と深さの最大値を比較し、表-6・6には各試験材ごとに腐食状況の特徴を示した。また、表-6・7～表-6・19には各試験材ごとの腐食発生状況を示した。

以上の観察と測定の結果をまとめると次のとおりである。

a. ステンレス鋼

海水環境におけるステンレス鋼の腐食は孔食と隙間腐食であり、いずれも形態的には局部腐食である。今回の詳細調査で確認されたのは、人工隙間付与部においては隙間腐食であるが、人工隙間を付与しない表面ではすべて付着した貝類の下で腐食が発生しており、これも隙間腐食と考えられる。

供試した試験材は飛沫帯から海中部までに曝露されたが、飛沫帯では少数の生物付着箇所の一部で、その下に隙間腐食が発生したにどまった。

干満帯では最も多数の局部腐食が発生した。すなわち、人工隙間付与部では溶接部より母材部に多く発生したものが合計しても約10ヵ所以下であったが、人工隙間を付与しない表面では多量の生物付着が原因で、その下に多数の局部腐食が発生した。ここも一般に母材部の方が多く、とくにA-1-2, A-1-3の（SUS316L 板巻き）、A-5（SUS316L 鋳込み圧延クラッド）、A-9-1（22Cr-5Ni-3Mo-L.C.）では119～148ヵ所の局部腐食が認められた。母材部より溶接部に多く発生したのはA-2-1, A-2-3（22Cr-26Ni-Cu-Ti-L.C.）とA-4-1, A-4-3（26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.）の2鋼種であった。

海中部ではA-1-2（SUS316L 板巻き）A-9-1（22Cr-5Ni-3Mo-L.C.）の母材部に30ヵ所前後の集中的発生がみられた他は各鋼種の母材部、溶接部に10ヵ所以下の発生であった。

また、鋼種によって程度は異なるが、溶接部およびその近傍は人工隙間を付与しなくても付着生物によって隙間を形成して局部的に腐食が集中する傾向があり、SUS316L鋼の場合は人工隙間と重なる部分に大きく、かつ深い隙間腐食が発生した。SUS316L板巻き及び鋳込み圧延クラッドとも干満帯では隙間

付与部及び生物付着部とも多数の隙間腐食が発生し、最大局部腐食深さとしては被覆厚さ3mmを貫通するものがあった。

二相ステンレス鋼のA-7-1 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.) 及びA-8-2 (25Cr-6Ni-3Mo-L.C.) では隙間付与部及び生物付着下に合計10カ所以下の局部腐食がみられ、最大局部腐食深さとしては隙間付与部で約1mm、生物付着部では約0.6mmの腐食であった。しかし、A-9-1 (22Cr-5Ni-3Mo-L.C.) では、隙間付与部の発生数は僅かであるが、生物付着下では合計約170個もの局部腐食が発生し、最大局部腐食深さも隙間付与部で約2mm、生物付着下で約1.3mmである。

b. キュプロニッケルおよびモネル

両試験材とも表面の変色あるいは表層のうすい腐食が認められる程度であった。キュプロニッケルにはほとんど生物が付着しなかった。

C. チタン

生物付着はステンレス鋼と同程度であるが、飛沫帯から海中部までの人工隙間付与部および付着生物下のいずれにも腐食は全く認められなかった。

なお、表-6・20～6・23にはこれまで現地において一時撤去し、隙間付与材を除去して局部腐食発生状況を調べた結果を示した。さらに表-6・24～6・26には、一時撤去と同時に図-6・1に示す干満帯の所定の位置で調べた生物付着下における局部腐食発生状況を示した。また、1989年に実施した回収試験材の詳細調査結果を図-6・2、表-6・27にした。

表-6.5 回収試験材の局部腐食調査結果

(第1次試験材)

(回収: 1993年)

試 験 材			人工曝間付与期間		局部腐食発生数 (上段 母材部 下段 溶接部)						局部腐食深さ最大値mm (上段 母材部 下段 溶接部)					
試験材 No	施 工 法	防 食 仕 様	1984 ~1993 9年5ヵ月	1987 ~1993 6年	人工曝間付与部			曝間を付与しない表面			人工曝間付与部			曝間を付与しない表面		
					飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部
A-1-	2	ステンレス鋼 SUS 316L						0	146	33					1.28	1.14
	3	板溶接 (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	○		4	8	9	7	133	5	0.11	1.73	>3	0.31	0.90	2.32
A-2-	1	"						0	0	0						
	3		○		0	6	4	0	1	0		0.88	1.41		0.08	
A-3-	1	25Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.						0	0	0						
	3		○		0	1	0	0	3	0		0.32			0.27	
A-4-	1	25Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.						0	0	0						
	3		○		0	7	5	0	0	0		0.43	1.69			
A-5	1	26Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.						0	1	5					0.25	0.31
	3		○		0	0	0	0	16	4					0.48	1.20
A-7-1	1	ステンレス鋼 SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)		○	3	9	10	1	148	9	0.22	2.10	2.25	0.5	>3	1.00
	2				0	2	0	0	10	1		>3			1.46	0.07
A-8-2	1	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N-L.C.		○	0	2	1	0	4	0		0.22	0.18		0.06	
	2				0	0	0	-	-	-				-	-	-
A-9-1	1	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.		○	0	1	0	0	9	0		1.05			0.38	
	2				0	0	0	-	-	-				-	-	-
A-10-2	1	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.		○	0	4	8	0	119	26		2.07	1.37		1.28	1.11
	2				0	2	2	0	27	2		1.70	0.30		0.87	1.01
A-11-2	1	キューブ ニッケル 9-1 キューブニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)		○	0	0	0	0	20	1					0.25	0.17
	2				0	0	0	0	0	0						
A-13-A	1	モネル圧延 クラッド 65Ni-31Cu		○	0	0	0	0	0	0						
	2				0	0	0	0	※1	※1					>3	>3
A-13-A	1	純チタン JIS2種 TP35C		○	0	0	0	0	0	0						
	2				0	0	0	0	0	0						

注: 1) 空らんは該当のないことを示し、— は調査していないことを示す。A-7-1は溶接加工の記録がなく、表面は明確でない。A-8-2は押し出し製造で溶接部はない。
 2) ※: 干満帯から海中部にわたり、溶接部に断続的に溝状の腐食が発生(原因は製作・加工にあることが判明している)
 3) >3は防食被覆金属(厚さ3mm)の貫通を示す。

表-6・6 回収試験材の腐食状況（研究テーマ1）

(第1次試験材)

(回収：1993年)

試 験 材			人工隙間付与期間		生物除去後の腐食状況（外観と腐食測定）
試 験 材 No.	施 工 法	防 食 仕 様	1984 ～1993 9年5ヵ月	1987 ～1993 6年	
A-1-	2	ステンレス鋼 SUS 316L			A-1-2は、干満帯から海中部にかけて、溶接部、母材部とも付着生物下に、腐食が多数発生した。溶接部では金属被覆3mmを貫通する腐食が発生し、また母材部では最大1.78mmの深さであった。A-1-3は、隙間付与部以外でも多数の腐食が発生したが、隙間付与部では飛沫帯から海中部にかけて比較的深い隙間腐食が発生した。隙間付与部の腐食は飛沫帯が最も浅く、海中部が最も深く最大では母材部に貫通する箇所が1ヵ所確認された。
	3	板溶接 (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	○		
A-2-	1	22Cr-26Ni-6Mo-Cu			A-2-1では、干満帯の溶接部に4ヵ所のみ付着生物下に、腐食が発生し、その最大深さは0.45mmであった。A-2-3は隙間付与部では干満帯に7ヵ所、海中部に4ヵ所隙間腐食が発生した。隙間付与部以外では、干満帯の母材部に浅い腐食が1ヵ所、溶接部に3ヵ所の付着生物下の腐食が発生した。最大の深さは海中部の隙間付与部の1.41mmであった。
	3	-Ti-L.C.	○		
A-3-	1	25Cr-50Ni-6Mo-Cu			A-3-1では干満帯の溶接部に1ヵ所のみ深さ0.13mmの付着生物下の隙間腐食が発生した。A-3-3では隙間付与部の、干満帯と海中部のいずれも母材部で隙間腐食が発生し、深さは最大で海中部母材部の1.69mmであったが、海中部の溶接部では、3mmを貫通する隙間腐食が1ヵ所発生した。隙間付与部以外では腐食は認められなかった。
	3	-Ti-L.C.	○		
A-4-	1	26Cr-4Mo-Ni-L.C.			A-4-1では、干満帯と海中部で溶接部と溶接部周辺の母材部に付着生物下の腐食が発生し、その最大深さは海中部溶接部の1.20mmであった。A-4-3は飛沫帯～海中部の隙間付与部に腐食が認められ、深さの最大は海中部の溶接部隙間付与部で1.55mmであった。隙間付与部以外の付着生物下では干満帯の溶接部に多数の腐食が集中していた。
	3	-L.N.	○		
A-5	ステンレス鋼 焼込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)		○	隙間付与部では飛沫帯から海中部にかけて深い隙間腐食が多数発生し、とくに干満帯溶接部では、金属被覆3mmを貫通した。隙間付与部以外ではとくに干満帯の母材部で付着生物下に多数の腐食が発生し、3mm貫通が1ヵ所確認された。同じ鋼種SUS316L鋼板を溶接材A-1-3の隙間付与9年5ヵ月間の場合と類似した傾向であった。
A-7-1	2相 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-L.C.		○	隙間付与部では、干満帯と海中部のいずれも母材部に合計3ヵ所のみ隙間腐食が発生し、その最大深さは0.22mmと浅かった。隙間付与部以外では、干満帯の母材部の付着生物下に4ヵ所だけ腐食が発生し、深さの最大は0.60mmであった。ステンレス鋼系ではA-8-1とともに腐食発生は少なかった。
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.		○	腐食は干満帯の母材部のみに生じた。隙間付与部では1ヵ所派生し、深さは1.05mmであった。隙間付与部以外では付着生物下に9ヵ所発生したが、深さは最大でも0.38mmと浅かった。ステンレス鋼系ではA-7-1とともに腐食発生は少なかった。
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.		○	干満帯と海中部のみに多数の腐食が発生した。隙間付与部では干満帯母材部の2.07mmが深さの最大であった。隙間付与部以外では母材部および溶接部とも付着生物下に多数の腐食が発生し、深さは最大で1.28mmであった。二相系ステンレス鋼の中では、最も多数の腐食が発生していた。
A-10-2	キュプロ ニッケル	9-1 キュプロニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn).		○	すべての隙間付与部で異状はなかった。隙間付与部以外では、溶接部で表面層からわずかに銅成分が溶出した程度であった。干満帯の母材部では、両側に深さ0.25mm以下の多数の浅い凹みができていた。
A-11-2	モノル圧延 クラッド	モノル(NiCuP) 65Ni-31Cu		○	干満帯から海中部の溶接線にそって隙間付与の有無に関係なく幅4～5mmで長さ10～65mmの索状の腐食が断続的に発生していた。(原因は製作・加工にあることが判明) その他は、隙間付与部以外では付着生物発生下に浅い腐食跡が認められる程度である。
A-13-A	純チタン	JIS2種 TP35C		○	すべての隙間付与部および付着生物下で腐食は認められなかった。

(注) 空欄は該当のないことを示す

表-6・7 局部腐食発生状況 (研究テーマ1)

NO. A-1-2

ステンレス鋼板溶接

SUS 316L

深さ (クテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 潤 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部	な し	な し	0.04(3*4) 0.05(3*3, 5*3, 5*4) 0.10(1*1, 5*6, 4*8, 2*2, 7*10, 5*5, 6*6, 4*5) 0.11(4*4) 0.12(12*3, 3*2) 0.15(10*10, 10*5, 15*30, 5*4, 7*5, 3*7) 0.18(12*4, 7*7, 15*15, 5*5) 0.20(5*4, 3*4, 17*2, 7*5, 2*5) 0.21(4*4, 7*3) 0.23(5*8, 5*5, 12*17) 0.25(13*4, 2*2, 5*4, 10*15, 15*4, 15*4, 5*3, 5*5, 10*10, 5*8, 4*7) 0.27(7*4, 5*3) 0.28(20*7, 5*5, 15*7, 7*7, 7*7, 3*2) 0.29(10*5) 0.30(3*5, 5*5, 12*4, 10*4) 0.31(1*1) 0.32(5*7, 5*3, 10*3) 0.33(7*4, 5*5) 0.35(5*5) 0.37(5*5) 0.38(7*2, 7*6) 0.40(7*3, 10*5) 0.42(5*5) 0.43(7*5, 5*5) 0.43(1*1) 0.45(10*4, 10*7, 10*3) 0.47(7*7) 0.48(5*5) 0.49(5*9) 0.51(20*20) 0.52(4*3, 2*2) 0.55(8*5, 10*6, 9*5, 10*8) 0.60(5*5) 0.62(7*7) 0.68(12*7) 0.75(30*10, 10*15) 0.82(15*15) 0.84(10*10) 0.91(5*3) 0.98(10*8) 1.15(5*5) 1.28(10*20) 99カ所	0.05(4*8) 0.08(5*7) 0.10(3*3) 0.11(5*8) 0.12(5*12) 0.15(10*10, 2*2) 0.20(3*3) 0.21(10*7) 0.22(5*4) 0.28(5*7) 0.30(15*15) 0.32(4*7, 6*5) 0.35(4*4) 0.50(15*7) 0.58(7*4) 0.85(12*15) 0.86(11*5) 3.00以上(15*5) 20カ所	0.05(5*6) 0.20(10*7, 3*5, 4*5) 0.25(6*3, 2*4, 5*2, 3*7) 0.27(5*5) 0.27(5*5) 0.30(7*4) 0.35(7*13) 0.42(8*4) 0.45(7*10) 0.47(10*10) 0.50(7*5) 0.55(7*3) 0.62(5*6) 0.65(12*1) 0.70(11*7) 0.75(10*9, 5*5) 0.83(5*5) 0.88(5*15) 0.92(10*15) 1.14(10*15) 26カ所	0.05(5*7) 0.10(10*1) 0.15(5*3) 0.17(4*3) 0.23(6*3) 0.25(10*3) 0.30(5*3) 0.45(7*7) 0.81(6*7) 9カ所
西 側	非 隙 間 付 与 部	な し		0.03(3*4) 0.05(3*5, 3*3) 0.07(4*6) 0.10(3*3, 5*8) 0.12(7*8) 0.17(5*3) 0.18(6*7) 0.20(3*10, 5*5) 0.22(4*4, 7*12) 0.25(5*5, 5*1, 10*5, 30*12, 5*7) 0.27(5*7) 0.28(2*7) 0.30(5*3, 12*8) 0.35(10*13) 0.36(10*3) 0.38(13*7) 0.43(3*5) 0.45(5*8, 7*7) 0.48(3*3, 9*4) 0.50(3*6) 0.51(10*7) 0.52(10*12, 11*17) 0.54(5*3) 0.55(18*15) 0.60(10*10) 0.61(11*7) 0.71(7*4) 0.75(18*18) 0.78(10*10) 0.81(13*23) 0.82(10*5) 0.98(10*12) 1.04(5*7) 1.10(10*12) 1.78(15*27) 47カ所		0.10(2*3) 0.22(2*2) 0.25(7*3) 0.40(6*4) 0.50(7*5) 0.77(12*15) 0.87(20*20) 7カ所	

9年5ヵ月

		飛沫帯		干満帯		海中部	
		母材部	溶接部	母材部	溶接部	母材部	溶接部
東側	非隙間付与部	0.13(4*4) 0.31(1*1) 					

表-6-9 局部腐食発生状況（研究テーマ1）

NO. A-2-1 ステンレス鋼板溶接

22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.

深さ（クテ*ヨコ）（単位：mm）

		飛 沫 帯		干 渦 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部						
	非 隙 間 付 与 部				0.14(6*3) 0.20(3*3) 0.22(5*9) 0.45(10*6)		

4ヵ所

9.54年

9年5ヵ月

表-6・10 局部腐食発生状況 (研究テーマ1)

NO. A-2-3 ステンレス鋼板溶接

22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.

深さ (タテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 渦 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部			0.08(4*10)			
	隙 間 付 与 部	なし		1ヵ所		なし	
西 側	非 隙 間 付 与 部			0.03(2*8) 0.38(20*48) 0.88(12*16)		1.07(50*130) 1.41(12*32)	
	隙 間 付 与 部	なし		3ヵ所		2ヵ所	
	非 隙 間 付 与 部				0.06(12*8) 0.25(12*4) 0.27(8*4)		
	隙 間 付 与 部	なし	なし	なし	3ヵ所	なし	なし
				0.22(125*60) 0.25(10*61) 0.32(8*24)	0.32(10*23)	0.98(8*22) 1.18(25*60)	
		なし	なし	3ヵ所	1ヵ所	2ヵ所	なし

隙間付与 9.5年

隙間付与 9年5ヵ月

表-6.11 局部腐食発生状況 (研究テーマ1)

NO. A-3-1 ステンレス鋼板溶接

25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-1..C.

深さ (タテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 満 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部						
		なし		なし		なし	
西 側	隙 間 付 与 部						
					0.13(7*7)		
西 側	非 隙 間 付 与 部						
		なし	なし	なし	1ヵ所	なし	なし
西 側	隙 間 付 与 部						

9.5年

9年5ヵ月

表-6.12 局部腐食発生状況 (研究テーマ1)

NO. A-3-3 ステンレス鋼板溶接 25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L. C.

深さ (クテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 渦 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部						
		なし	なし	なし	なし	なし	なし
西 側	隙 間 付 与 部	なし	なし	0.05(14*4) 0.21(4*7) 0.43(10*43) 3カ所	なし	0.25(5*15) 0.32(11*45) 0.53(8*37) 1.69(40*40) 4カ所	3.00以上(29*60) 1カ所
	非 隙 間 付 与 部	なし		なし		なし	
西 側	隙 間 付 与 部	なし		0.08(6*2) 0.12(10*12) 0.32(13*20) 0.35(10*18) 4カ所		0.86(14*18) 1カ所	なし

隙間付与 9.5年

隙間付与 9年5ヵ月

深さ (タテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 満 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部						
西 側	非 隙 間 付 与 部			0.25(6*6)	0.03(5*5, 5*3) 0.05(8*7, 4*4, 5*5) 0.10(10*5, 8*3) 0.15(3*2) 0.20(3*6) 0.22(9*9) 0.26(8*4) 0.32(4*4) 0.34(4*3) 0.40(10*10) 0.45(10*5) 0.48(12*5)	0.08(2*3) 0.17(6*6) 0.25(8*3) 0.29(4*4) 0.31(3*5)	0.03(2*2) 0.11(5*6) 0.15(5*2) 1.20(10*7)
				1 カ 所	16 カ 所	5 カ 所	4 カ 所

9年5ヵ月

NO. A-4-3 ステンレス鋼板溶接 26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.

NO. A-4-3 ステンレス鋼板溶接 26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.

		飛沫帯		干満帯		海中部	
		母材部	溶接部	母材部	溶接部	母材部	溶接部
東側	非隙間付与部	なし	なし	0.45(10*10) 1ヵ所	0.02(2*5) 0.06(7*4,8*3) 0.08(9*7,9*7) 0.11(12*9) 0.12(11*11,18*12,7*2,10*2 9*13) 0.13(14*6,2*2,10*10) 0.15(7*5,16*13,7*4,6*39) 0.18(9*9) 0.19(19*6,5*5,19*6) 0.20(2*2) 0.21(11*12) 0.22(10*8) 0.23(7*4,5*2) 0.24(7*3) 0.25(8*4,10*8,5*6,10*2) 0.28(1*1) 0.29(4*3) 0.31(8*4) 0.33(9*10,6*6) 0.37(24*15) 0.38(4*4) 0.42(4*6) 0.43(12*5) 0.45(10*10) 0.52(8*4) 0.55(4*4) 0.62(2*3) 0.72(4*4) 46ヵ所	なし	なし
	隙間付与部		0.09(16*15) 0.10(8*6) 0.17(2*4) 0.29(7*11) 4ヵ所		0.59(10*22) 1.28(48*43) 2ヵ所		0.57(8*40) 1.55(8*40) 2ヵ所
西側	非隙間付与部	なし		なし		なし	
	隙間付与部	なし		なし		なし	

陳問付与 9年5ヵ月

		飛 沫 帯		干 満 帯		深 さ (ク テ * ヨ コ) (単位 : mm)	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部	0.05(4*4)		0.02(2*2) 0.03(10*6) 0.05(3*2, 12*10, 7*7, 3*3, 7*7, 5*15, 3*3, 5*7, 5*5, 2*2, 10*10, 3*3, 7*5, 9*9) 0.07(5*5, 5*8, 7*14, 10*10, 7*5) 0.08(10*10, 3*5, 7*7, 7*5, 5*7) 0.10(3*4, 5*8, 9*10, 5*5, 3*2, 7*4) 0.11(10*7, 3*3) 0.12(5*5, 7*13, 5*5, 8*4, 3*2, 5*3) 0.15(3*7, 10*4, 5*3, 6*5, 5*11, 15*5, 4*3, 7*7, 10*7, 6*4, 10*8) 0.17(10*7) 0.18(3*5, 5*10, 7*7) 0.20(6*4, 12*10, 3*3, 4*8, 10*4) 0.21(3*6, 10*11) 0.22(8*7, 3*3, 1*1) 0.23(3*3) 0.24(6*10) 0.25(10*6, 20*20) 0.27(6*8) 0.28(3*5, 12*7, 7*7, 5*10, 10*6) 0.30(7*8, 7*7) 0.32(5*7) 35(1*1, 10*15) 0.38(4*4) 0.40(10*5, 7*8) 0.43(11*6) 0.45(4*4, 8*5, 10*10, 15*25, 10*10) 0.48(5*5) 0.50(15*10, 15*10) 0.60(1*1) 0.65(4*4) 0.68(5*10) 0.75(12*12) 0.92(15*18) 1.12(5*5) 1.80(15*7) 2.09(11*5)		1.72(15*10)	
	隙 間 付 与 部	0.03(2*2) 0.20(4*12) 0.22(5*12)		0.25(45*80) 0.50(20*52) 0.99(15*23) 2.10(12*8)		0.28(9*7) 0.45(9*52) 0.48(8*8) 0.55(8*20) 0.60(15*20) 1.40(25*70) 2.25(15*50)	
西 側	非 隙 間 付 与 部	なし	なし	0.05(7*5, 10*3, 5*5, 3*7, 10*10, 10*10, 3*5, 10*10) 0.07(8*8, 3*5, 4*8) 0.08(5*5) 0.10(5*3, 4*4, 10*7, 5*5, 10*10, 7*15) 0.12(3*3, 10*7) 0.14(4*5) 0.15(15*15, 2*2, 10*10) 0.16(10*20) 0.18(3*3, 8*7) 0.20(10*10, 3*2, 5*7, 10*5, 10*8, 2*2) 0.22(10*13) 0.25(7*4, 5*12, 3*3, 5*5, 5*7, 10*7) 0.30(4*8) 0.38(17*12) 0.40(7*6) 0.48(5*5) 0.54(5*6) 1.15(3*3) 2.05(15*15) 3.00以上(12*4)	0.05(5*5, 10*10) 0.06(7*7) 0.07(7*6) 0.08(3*4) 0.10(7*8) 0.12(15*7) 0.35(12*15) 0.45(22*8) 1.46(15*20)	0.15(11*6) 0.20(1*1) 0.22(7*5) 0.28(8*8) 0.30(7*7) 0.32(4*4) 0.55(5*3) 0.68(11*14) 1.00(5*6)	0.07(8*8)
	隙 間 付 与 部	なし	なし	0.36(15*10) 0.65(20*13) 0.95(7*15) 1.92(17*30) 2.05(12*7)	0.64(23*40) 3.00以上(22*53)	0.48(8*22) 0.68(5*18) 0.72(9*15)	なし

9年5ヵ月 (隙間付与は3年5ヵ月後から6年)

表-6・16 局部腐食発生状況（研究テーマ1）

NO. A-7-1 素管（二相ステンレス鋼） 25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.

深さ（タテ×ヨコ）（単位：mm）

		飛沫帯		干 満 帯		海 中 部	
		母材部	溶接部	母材部	溶接部	母材部	溶接部
東 側	非 隙 間 付 与 部	なし	なし	0.05(6*3) 1カ所	なし	なし	なし
	隙 間 付 与 部	なし	なし	0.20(5*18) 1カ所	なし	なし	なし
西 側	非 隙 間 付 与 部	なし	なし	0.05(3*3) 0.18(10*12) 0.60(9*9) 3カ所	なし	なし	なし
	隙 間 付 与 部	なし	なし	0.22(3*5) 1カ所	なし	0.18(3*13) 1カ所	なし

9年5ヵ月（隙間付与は3年5ヵ月後から6年）

NO. A-8-2 紫管（二相ステンレス鋼） 25Cr-GNi-3Mo-L.C.

表-6・17 局部腐食発生状況（研究テーマ1）

深さ（タテ×ヨコ）（単位：mm）

		飛 沫 帯		干 満 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部			0.05(3*4) 0.11(3*4)			
		な し	な し	2 ヲ所	な し	な し	な し
	隙 間 付 与 部	な し	な し	な し	な し	な し	な し
西 側	非 隙 間 付 与 部			0.05(6*1) 0.12(6*5) 0.13(15*2) 0.15(5*7) 0.24(10*10) 0.30(4*1) 0.38(10*3)			
		な し	な し	7 ヲ所	な し	な し	な し
	隙 間 付 与 部	な し	な し	1 ヲ所	な し	な し	な し

9 年 5 ヲ月（隙間付与は 3 年 5 ヲ月後から 6 年）

表-6-18 局部腐食発生状況 (研究テーマ1)

NO. A-9-1 素管 (二相ステンレス鋼) 22Cr-5Ni-3Mo-L.C.

深さ (クテ*ヨコ) (単位: mm)

		飛 沫 帯		干 満 帯		海 中 部		
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	
東 側	非 隙 間 付 与 部			0.03(7*4) 0.04(4*4, 23*8, 3*4) 0.05(3*1, 7*3, 2*2) 0.07(6*3) 0.08(3*1, 5*7, 8*4, 4*4) 0.09(5*3) 0.10(3*4, 6*6, 11*7, 7*4, 6*6, 10*6, 15*18, 15*18) 0.11(8*7) 0.12(10*7, 8*3, 9*9, 6*6, 5*5) 0.15(11*11, 12*7) 0.16(5*5) 0.17(7*6) 0.18(10*3, 6*5) 0.19(7*4) 0.20(7*3) 0.21(12*8) 0.24(3*1) 0.25(4*3, 6*7, 7*6) 0.27(7*8) 0.28(7*4) 0.31(7*2) 0.32(7*5) 0.33(10*10) 0.35(10*7, 9*4) 0.40(13*12, 9*9) 0.42(5*5) 0.45(10*10, 7*7) 0.51(7*6) 0.52(10*10) 0.73(5*7, 9*6) 0.74(25*12) 0.78(10*10) 1.08(6*6) 59ヵ所		0.04(5*5) 0.05(7*5, 5*5, 8*4, 1*3) 0.06(3*3, 5*5) 0.07(10*3, 10*7) 0.08(3*3) 0.10(5*7, 7*5) 0.11(3*4) 0.12(11*5, 10*6, 7*8, 4*4) 0.15(3*3, 4*10) 0.18(10*9, 7*5) 0.19(9*2) 0.22(6*3) 0.25(3*5, 4*6, 10*10) 0.27(4*4) 0.28(5*4, 6*5, 20*12) 0.35(9*4) 0.45(8*6) 0.49(12*12) 0.61(13*31) 0.87(25*28) 35ヵ所	0.04(7*2) 0.06(3*2) 0.10(8*1) 0.15(4*7) 0.18(8*1, 7*4) 0.20(3*2) 0.25(3*4) 0.28(4*4) 0.30(16*10) 0.35(7*3) 0.37(4*4) 0.40(5*7) 0.43(7*5) 0.47(7*4) 0.82(7*3) 1.11(5*5) 17ヵ所	0.19(3*4) 1.01(3*7) 2ヵ所
	隙 間 付 与 部	な し	な し	0.12(10*10) 0.62(7*25) 2.07(10*12) 3ヵ所	0.92(20*48) 1.70(30*113) 2ヵ所	0.21(5*12) 0.42(18*15) 0.62(12*15) 0.88(12*35) 1.37(10*20) 5ヵ所	0.25(4*4) 1ヵ所	
西 側	非 隙 間 付 与 部			0.04(5*2) 0.07(10*8) 0.08(4*2) 0.10(4*4) 0.11(5*3) 0.12(5*4, 10*10, 8*5) 0.14(10*10) 0.15(9*8, 6*6, 5*5) 0.17(15*20) 0.18(8*7) 0.21(9*9, 30*30) 0.22(3*7, 10*5, 7*7, 4*4) 0.23(1*1) 0.24(8*7) 0.25(5*2) 0.27(12*3) 0.28(4*4) 0.30(3*3) 0.31(2*2) 0.35(10*3, 8*8) 0.36(7*3) 0.37(9*7) 0.43(7*7) 0.45(4*4, 7*15, 10*4) 0.52(3*7) 0.55(6*5) 0.58(18*15) 0.62(10*15) 0.65(10*11) 0.78(10*10) 0.80(10*4) 0.86(13*25) 0.95(9*8) 1.03(10*6) 1.17(7*7) 1.28(11*11) 47ヵ所		0.05(5*6) 0.33(10*6) 0.55(9*9) 0.57(10*10) 0.62(15*15) 5ヵ所	0.08(3*10) 0.18(4*4) 0.35(7*9) 0.41(2*4) 0.46(5*7) 0.48(7*6) 0.50(4*5) 0.51(3*2) 8ヵ所	な し
	隙 間 付 与 部	な し	な し	0.80(35*35) 1ヵ所	な し	0.37(12*5) 0.55(11*32) 1.22(15*32) 3ヵ所	0.30(4*4) 1ヵ所	

9年5ヵ月 (隙間付与は3年5ヵ月後から6年)

表-6・19 局部腐食発生状況（研究テーマ1）

NO. A-10-2 キーロニカル圧延クラッド 9-1 Cupro Nickel

深さ（クテ*ヨコ）（単位：mm）

		飛 沫 帯		干 潤 帯		海 中 部	
		母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部	母 材 部	溶 接 部
東 側	非 隙 間 付 与 部			0.10(10*6) 0.13(11*10, 14*12)			
	隙 間 付 与 部	な し	な し	3 カ所	な し	な し	な し
西 側	非 隙 間 付 与 部			0.05(16*10) 0.07(5*5) 0.08(10*10) 0.10(10*8) 0.13(10*10, 8*4) 0.16(6*8) 0.18(8*4) 0.20(10*8, 10*10, 7*8) 0.21(8*6, 8*6) 0.23(12*12, 6*6) 0.25(8*6, 14*10)		0.17(6*6)	
	隙 間 付 与 部	な し		17 カ所		1 カ所	
		な し		な し		な し	

9年5ヵ月（隙間付与は3年5ヵ月後から6年）

表-6-20 人工隙間付与部における隙間腐食発生状況（一時回収材）

（隙間腐食発生箇所数）

（研究テーマ1）

試験材 No.	施工法	防食仕様	1986年度（2年5ヵ月）				1989年度（5年5ヵ月）				特記事項
			飛沫帯	干渉帯	海中部	暴露期間	飛沫帯	干渉帯	海中部	暴露期間	
			HWL直上	±0付近	LWL直下		HWL直上	±0付近	LWL直下		
			+1190~+990	+140~-60	-840~-1040		+1190~+990	+140~-60	-840~-1040		
A-1-3	ステンレス鋼 板溶接	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	0	4	3	1984 ~ 1986 2年5ヵ月 隙間付与	0	5	8	1984 ~ 1986	最も多い
A-2-3	”	22Cr-26Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	0	3	3		0	5	5	一時撤去	
A-3-3	”	25Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	0	0	0		0	1	0	1986 ~ 1989	
A-4-3	”	26Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.	0	3	6		0	3	5	5年5ヵ月 隙間付与	
			1	0	0		0	0	0		
			3	3	2		3	3	2		
A-5	ステンレス鋼 鉚込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)					1	4	5	1984 ~1987 一時撤去	※貫通
							0	1※	0		
A-7-1	2 相 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N-L.C.				0	0	1	1987 ~ 1989	溶接部には発生せず	
A-8-2	”	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.				0	0	0			
A-9-1	”	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.				0	3	2	2年 隙間付与		
						0	0	0			
A-10-2	キュプロ ニッケル	9-1 キュプロニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)				0	0	0			
						0	0	0			
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NCuP) 65Ni-31Cu				0	0	0			
						0	0	0			
A-13-A	純チタン	JIS2種 TP35C				0	0	0			
						0	0	0			

注) 上段は母材部、下段は溶接部、A-7-1とA-8-2は溶接部なし

表-6-21 人工隙間付与部における局部腐食の大きさと深さ（一時回収材、1986年度、通算2年5ヵ月経過）

（研究テーマ1）

上段は母材部、下段は溶接部、表示は、深さ（クテ×ヨコ）〔単位：mm〕

試験材 No.	施工法	防食仕様	飛沫帯	干渉帯	海中部	生物付着部
			HWL直上	±0付近	LWL直下	
			+1190～+990	+140～-60	-840～-1040	
A-1-3	ステンレス	SUS 361L 17Cr-12Ni-2Mo-L.C.	なし	4ヵ所 1.05(30×15) 0.10(10×20) 0.10(10×20) 0.80(5×30)	3ヵ所 0.55(8×8) 1.40(30×40) 1.45(30×60)	干渉帯の生物下で 3ヵ所 0.10(7×15) 0.15(10×5) 0.05(10×10)
			なし	4ヵ所 1.45(30×30) 1.40(20×30) 0.45(30×30) 0.90(20×30)	1ヵ所 1.60(30×50)	
A-2-3	ステンレス	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	なし	3ヵ所 0.30(10×30) 0.35(10×25) 0.40(20×50)	3ヵ所 1.10(15×50) 0.95(10×20) 1.05(50×100)	干渉帯の生物下で 1ヵ所 0.05(8×8)
			なし	なし	なし	
A-3-3	鋼板	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	なし	3ヵ所 0.20(15×20) 0.30(20×10) 0.30(10×40)	6ヵ所 0.90(20×40) 0.50(10×10) 0.45(30×50) 0.20(20×15) 0.10(10×20) 0.35(20×50)	なし
			なし	なし	1ヵ所 2.95(20×60)	
A-4-3	溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.	なし	なし	なし	干渉帯から海中部にわたって生物下で4ヵ所 0.40(20×20) 0.30(7×7) 0.20(5×5) 0.40(10×10)
			1ヵ所 0.40(5×15)	3ヵ所 1.20(15×25) 0.55(5×10) 0.50(5×10)	6ヵ所 1.50(15×15) 1.30(10×25)	

表-6-22 人工隙間付与部における隙間腐食の大きさと深さ（一時回収材、1989年度、通算5年5ヵ月経過）

（研究テーマ1）

上段は母材部、下段は溶接部、表示は深さ（タテ×ヨコ）〔mm〕

試 験 材 No.	施 工 法	防 食 仕 様	飛 沫 帯	干 満 帯	海 中 部	特記事項
			HWL直上	± 0 付 近	L W L 直 下	
			+1190～+990	+140～-60	-840 ～-1040	
A-1-3	ステンレス 鋼板溶接	S U S 3 1 6 L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	な し	5ヵ所 1.05(30×25) 0.80(6×30) 0.91(14×27) 0.60(5×8) 0.86(8×36)	8ヵ所 2.35(12×13) 1.45(30×68) 2.32(12×11) 1.40(30×40) 2.05(12×15) 1.10(14×13) 1.56(11×12) 0.59(12×8)	最も多い
			な し	3ヵ所 1.50(20×30) 1.08(40×60) 1.45(30×30)	1ヵ所 1.82(27×95)	
A-2-3	ステンレス 鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	な し	5ヵ所 0.95(12×16) 0.21(30×48) 0.41(21×47) 0.16(70×58) 0.35(10×25)	5ヵ所 1.43(16×34) 0.95(12×23) 1.21(28×64) 0.28(13×14) 1.18(50×136)※	※面積最大
			な し	1ヵ所 0.28(15×24)	な し	
A-3-3	ステンレス 鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	な し	3ヵ所 0.38(22×67) 0.20(15×20) 0.31(11×17)	5ヵ所 1.67(55×60) 0.25(20×15) 0.56(30×54) 0.18(10×20) 0.35(20×50)	
			な し	な し	1ヵ所 2.95(20×60)	
A-4-3	ステンレス 鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.	な し	な し	な し	
			3ヵ所 0.40(6×13) 0.09(4×7) 0.06(17×14)	3ヵ所 1.22(19×23) 0.56(5×13) 0.50(8×12)	2ヵ所 1.53(38×36) 1.30(17×39)	

表-6-23 人工隙間付与部における隙間腐食の大きさと深さ（一時回収材、1989年度、通算5年5ヵ月経過）

（研究テーマ1）

上段は母材部、下段は溶接部、表示は深さ（タテ×ヨコ）〔mm〕

試験材 No.	施工法工法	防食仕様	飛沫帯	干渉帯	海中部	特記事項
			HWL直上	±0付近	LWL直下	
			+1190～+990	+140～-60	-840～-1040	
A-5	ステンレス 鋼鋳込み圧 延クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	1ヵ所 0.20(7×11)	4ヵ所 2.10(11×10) 1.82(14×10) 1.87(17×31) 0.50(10×19)	5ヵ所 1.40(27×47) 0.37(15×52) 0.95(4×12) 0.30(6×6) 0.45(11×32)	※溶接部貫通
			なし	1ヵ所 貫通(17×51)※	なし	
A-7-1	素管 (二相ステン レス鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	なし	なし	1ヵ所 0.33(6×12)	
A-8-2	〃	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	なし	なし	なし	
A-9-1	〃	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	なし	3ヵ所 2.07(14×11) 0.59(10×30) 1.32(11×11)	2ヵ所 1.61(12×35) 1.18(3×5)	溶接部に 発生せず
			なし	なし	なし	
A-10-2	キュプロニ ッケル圧 延クラッド	9-1 キュプロニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)	なし	なし	なし	
			なし	なし	なし	
A-11-2	モネル 圧延 クラッド	モネル NCuP (65Ni-31Cu)	なし	なし	なし	
			なし	なし	なし	
A-13-A	チタン板 溶接	純チタン JIS2種 TP35C	なし	なし	なし	
			なし	なし	なし	

注) A-7-1、A-8-2は溶接部なし

表-6-24 付着生物下における局部腐食発生状況 (一時回収材)

(研究テーマ1)

(局部腐食発生箇所数)

試験材 No.	施 工 法	腐 食 仕 様	1987年度 (3年5ヵ月)					1989年度 (5年5ヵ月)				
			干潟部上部	干潟中上部	干潟中下部	海 中 部	特 記 事 項	干潟部上部	干潟中上部	干潟中下部	海 中 部	特 記 事 項
			HWL直下	±0直上	±直下	LWL直下		HWL直下	±0直上	±直下	LWL直下	
			+670~+570	+170~+70	-330~-430	-830~-930		+670~+570	+370~+270	-130~-230	-530~-630	
A-1-3	ステンレス 鋼板溶接	SUS 316L (17Cr-12Ni- 2Mo-L.C.)	-	-	-	-	1986年(2年 5ヵ月)に干 潟部で3	2	2	2	1	
A-2-3	"	22Cr-26Ni- 6Mo-Cu-Ti- L.C.	-	-	-	-	1986年(2年 5ヵ月)に干 潟部で1	0	0	0	0	
A-3-3	"	25Cr-50Ni- 6Mo-Cu-Ti- L.C.	-	-	-	-		0	0	0	0	
A-4-3	"	26Cr-4Mo- Ni-L.C.-L. N.	-	-	-	-	1986年(2年5 ヵ月)に干潟 帯~海中で4	0	0	0	0	溶接部に発生
								1	1	3	3	
A-5	ステンレス 鋳込み圧延 クラッド	SUS316L (17Cr-12Ni- 2Mo-L.C.)	2	11	6	※ 17	+70の下方に 1	4	15	※ 6	26	全面に多発 北側の-230の 下方に貫通 (16×9)あり
A-7-1	2相ステン レス鋼	25Cr-7Ni-3 Mo-Cu-N-L. C.	0	0	0	0		1	0	0	0	
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3 Mo-L.C.	1	2	0	0		0	2	1	0	
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3 Mo-L.C.	5	8	2※	14	※-330の上方 に1	3	1	1	3	発生多い
			2	5	0	2			3	3	2	
A-10-2	キュプロ ニッケル	9-1 キュプロ ニッケル(88Cu- 9Ni-Fe-Mn)	0	2	7	4		0	3	11	0	
					1							
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NC uP) 65Ni-31Cu	0	11	10	※ 17	※溶接線に沿 いの一部にモ ネル貫通	13	34	30	24	最も多発
A-13-A	純チタン	JIS 2種 TP35C	0	0	0	0		0	0	0	0	

2段の場合上段は母材部、下段は溶接部、観察方向は南(西)、北(東)側、観察面積は各100cm²(100×100mm)

(研究テーマ1)

表-6-25 付着生物下における局部腐食の大きさと深さ (一時回収、1987年度、3年5ヵ月経過後)

表示は深さ (クテ×ヨコ) (mm)

試験材 No.	防食施工法	防食仕様	A	B	C	D	備 考
			干 満 帯 上 部	干 満 帯 中 上 部	干 満 帯 中 下 部	干 満 帯 下 部	
			+670~+570	+170~+70	-330~-430	-830~-930	
A-5	ステンレス鋼 鉚込み圧延 クラッド	SUS316 L (鉚込み)	2カ所 0.03 (7×5) 0.03 (5×5)	11カ所 0.07 (3×1) 0.67 (7×5) 0.12 (10×4) 0.30 (3×3) 0.12 (4×3) 0.08 (4×4) 0.25 (2×2) 0.10 (10×10) 0.12 (10×6) 0.13 (15×10) 0.28 (15×10)	6カ所 0.18 (6×8) 0.15 (3×3) 2.13 (16×10) 0.12 (3×4) 0.29 (4×7) (溶接部) 0.50 (20×14)	17カ所 0.02 (5×2) 0.16 (5×3) 0.20 (2×2) 0.05 (2×1) 0.05 (7×5) 0.03 (12×7) 0.08 (5×5) 0.10 (5×3) 0.32 (4×3) 0.10 (5×3) 0.70 (13×5) 0.18 (4×2) 0.25 (3×3) 0.25 (3×5) 0.14 (4×3) (溶接部) 0.13 (5×2) 0.35 (5×7)	B地点の外側 2.08 (12×10)
A-7-1	素管 (二相 ステンレス鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	なし	なし	なし	なし	
A-8-2	素管 (二相 ステンレス鋼)	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	1カ所 14×3 (0.15)	2カ所 0.22 (4×2) 0.25 (3×2)	なし	なし	
A-9-1	素管 (二相 ステンレス鋼)	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	7カ所 0.05 (10×4) 0.07 (5×2) 0.15 (2×2) 0.13 (7×4) 0.12 (5×5) (溶接部) 0.08 (10×12) 0.20 (5×2)	13カ所 0.10 (3×3) 0.17 (2×5) 0.18 (5×4) 0.06 (5×5) 0.10 (3×3) 0.05 (5×8) 0.18 (5×4) 0.07 (4×6) (溶接部) 0.15 (3×5) 0.03 (7×6) 0.07 (4×6) 0.05 (2×2) 0.03 (7×9)	2カ所 0.08 (4×4) 0.15 (2×4)	16カ所 0.15 (2×2) 0.03 (2×2) 0.45 (8×5) 0.05 (3×1) 0.30 (4×2) 0.05 (2×2) 1.07 (6×10) 0.07 (2×3) 0.14 (2×2) 0.07 (3×3) 0.41 (5×4) 0.07 (5×5) 0.35 (8×3) 0.03 (5×1) (溶接部) 0.15 (5×5) 0.45 (7×5)	C地点の外側 1.21 (10×9)
A-10-2	キuproニッケル板 溶接	9-1 キuproニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)	なし	2カ所 0.05 (10×10) 0.20 (10×10)	8カ所 0.13 (10×10) 0.15 (2×2) 0.14 (4×5) 0.10 (1×2) 0.09 (2×5) 0.10 (2×2) 0.13 (8×7) (溶接部) 0.13 (10×10)	4カ所 0.15 (4×1) 0.10 (10×10) 0.13 (2×4) 0.13 (2×1)	
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NiCuP 65Ni-31Cu)	なし	0.07 (3×2) 0.08 (7×2) 0.05 (7×9) 0.11 (10×10) 0.05 (5×4) 0.08 (2×3) 0.05 (3×4) 0.08 (3×4) 0.17 (5×5) 0.10 (4×3) 0.05~0.10 (3φ~5φ) 分散してあり	10カ所 0.10 (2×2) 0.07 (6×5) 0.05 (2×5) 0.20 (2×2) 0.07 (1×2) 0.05 (10×10) 0.05 (2×5) 0.05 (7×6) 0.08 (1×1) 0.07 (1×1)	17カ所 0.17 (1×2) 0.11 (1×7) 0.10 (1×1) 0.11 (2×2) 0.05 (2×2) 0.22 (1×2) 0.12 (1×2) 0.08 (2×1) 0.02 (3×3) 0.10 (2×1) 0.05 (2×1) 0.10 (2×4) 0.05 (2×2) 0.12 (6×5) 0.15 (1×3) 0.05 (4×4) 0.23 (2×3)	溶接部に沿って腐食あり
A-13-A	チタン板溶接	純チタン (JIS 2種 TP35C)	なし	なし	なし	なし	

表-6-26 付着生物下における局部腐食の大きさ（一時回収、1989年度、5年5ヵ月経過）

(研究テーマ1)

表示は深さ(タテ×ヨコ) [mm]

試料 No.	防食施工法	防食仕様	A	B	C	D	備 考
			干潟帯上部	干潟帯中上部	干潟帯中下部	干潟帯下部	
			+670～+570	+370～+270	-130～-270	-530～-630	
A-1-3	ステンレス 銅板溶接	SUS316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	2ヵ所 0.02 (4×3) 0.02 (2×2)	2ヵ所 0.10 (4×2) 0.04 (2×2)	2ヵ所 0.02 (6×8) 0.12 (2×2)	1ヵ所 0.20 (8×8)	
A-2-3	"	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	なし	なし	なし	なし	
A-3-3		25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	なし	なし	なし	なし	
A-4-3	"	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N	1ヵ所 (溶接部) 0.09 (11×4)	1ヵ所 0.16 (8×10)	3ヵ所 (溶接部) 0.66 (4×8) 0.11 (6×7) 0.34 (5×4)	3ヵ所 (溶接部) 0.42 (10×7) 0.14 (11×7) 0.12 (10×8)	
A-5	ステンレス 銅板溶接 クラッド	SUS316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	4ヵ所 0.09 (15×6) 0.04 (5×4) 0.01 (6×5) 0.01 (3×3)	15ヵ所 0.44 (10×12) 〔4×4〕 0.24 (10×23) 〔6×6〕 0.24 (13×12) 0.24 (16×14) 小計8ヵ所 0.15 (5×11) 0.10 (8×8) 0.02 (9×12) 0.15～0.35	6ヵ所 0.17 (8×9) 0.10 (9×11) 0.05 (9×8) 0.03 (6×5) 0.03 (2×2) 0.02 (15×13)	26ヵ所 0.31 (4×3) 0.05 (3×4) 0.23 (6×7) 0.03 (7×3) 0.18 (7×7) 0.02 (4×3) 0.12 (4×6) 0.08～0.12 0.12 (4×2) 〔3×3〕 0.11 (11×12) 〔5×3〕 0.05 (7×6) 0.05 (4×5) 小計15ヵ所	北側(内側) のCの下 (CとDの間) で貫通(16× 9) 1ヵ所 あり
A-7-1	炭素(2相ステ ンレス鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	1ヵ所 0.10 (8×3)	なし	なし	なし	
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	なし	2ヵ所 0.08 (3×5) 0.02 (3×3)	1ヵ所 0.12 (3×5)	なし	
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	3ヵ所 0.09 (2×4) 0.03 (5×5) 0.03 (5×4)	4ヵ所 0.02 (4×5) (溶接部) 0.22 (8×6) 0.02 (6×3) 0.02 (7×2)	4ヵ所 0.67 (8×10) (溶接部) 0.63 (24×20) 0.03 (5×8) 0.10 (3×3)	5ヵ所 0.55 (9×10) 0.33 (9×10) 0.17 (3×3) (溶接部) 1.32 (11×10) 0.17 (8×6)	2相中で最も 多い 面積最大 深さ最大
A-10-2	キューロニカル 圧延クラッド	9-1 キュプロニッケル 88Cu-9Ni-Fe-Mn	なし	3ヵ所 0.05 (3×3～7×7)	11ヵ所 0.15 (14×8) 0.5 0.14 (12×7) (2×3～10) 0.12 (11×10) 小計6ヵ所 0.08 (4×5)	なし	
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネルXCuP 65Ni-31Cu	13ヵ所 0.02～0.05 (1φ～3φ) 小計10ヵ所 0.01 (2×2～5×3) 小計3ヵ所	34ヵ所 0.02～0.05 (1φ～3φ) 小計14ヵ所 0.03～0.05 (2×2～4×3) 小計20ヵ所	30ヵ所 0.03～0.05 (2×2～6×6) 小計13ヵ所 0.03～0.07 (4×3～8×8) 小計17ヵ所	24ヵ所 0.02～0.05 (2×2～10) 小計11ヵ所 0.02～0.06 (4×3～6×10) 小計13ヵ所	浅く多発
A-13-A	チタン板溶接	純チタン JIS 2種 TP35C	なし	なし	なし	なし	

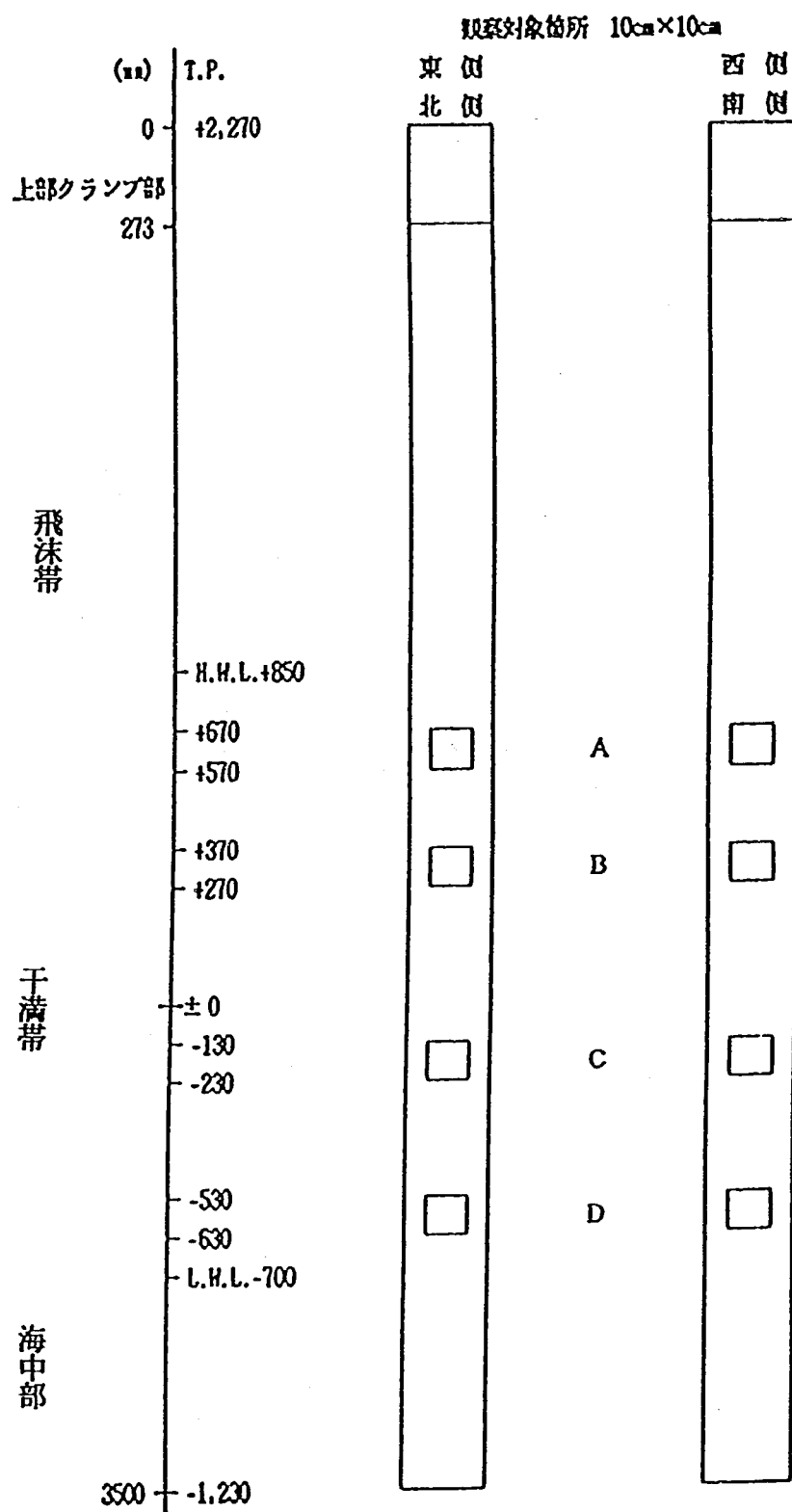
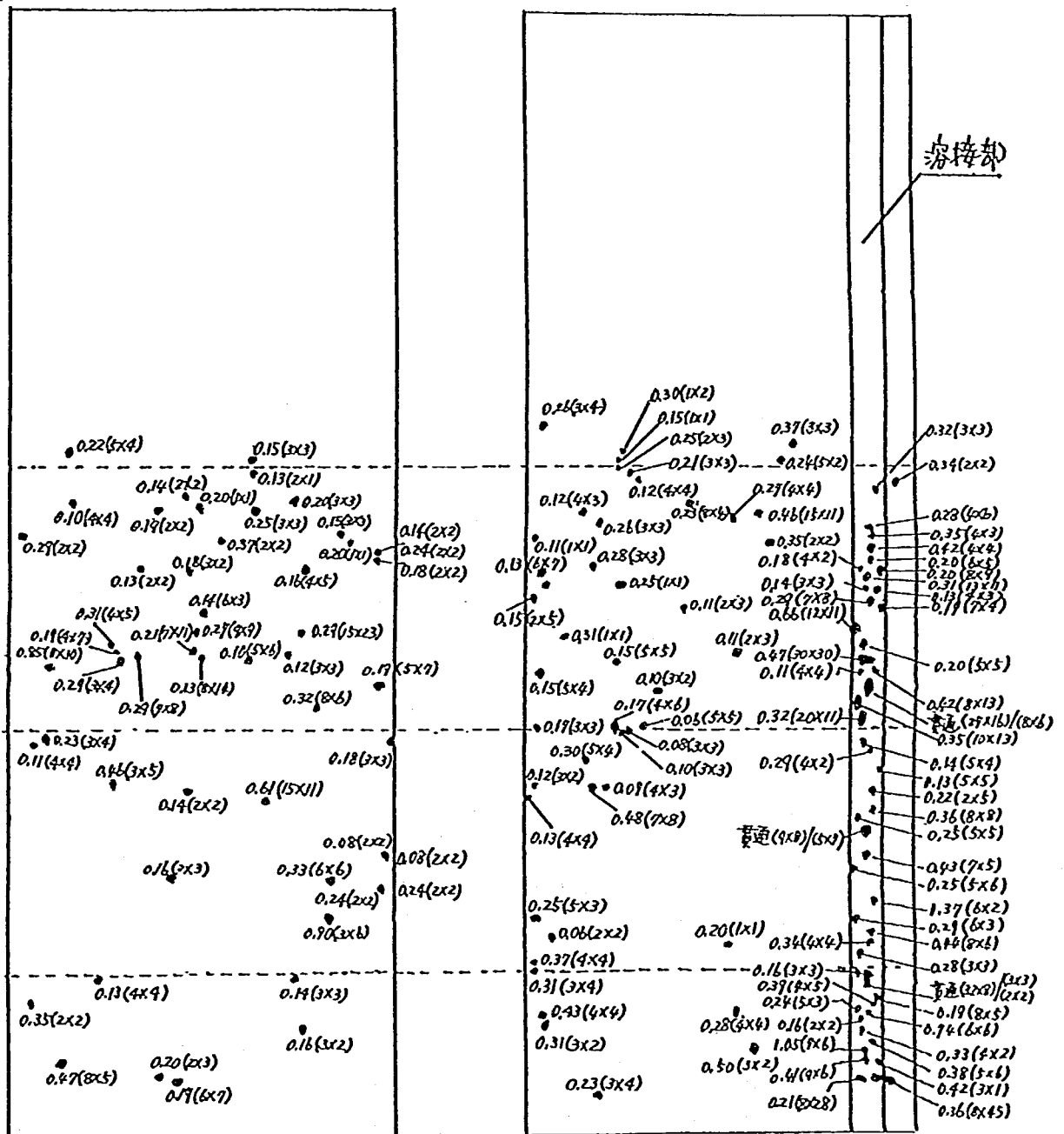


図-6・1 付着生物下の腐食状況観察位置 (1989年度)

西側

海中部



— 93 —

表-6・27 ステンレス鋼における局部腐食発生状況 (1989年度、5年5ヵ月経過)

No. A - 1 - 1 SUS316L .

表示：深さ (タテ×ヨコ) [mm]

方向	位 置	飛 沫 帯	干 溝 帯					海 中 部	
		+2270~+850	+850~-700					-700~-1230	
東 側	母 材 部	0.25(5×4)	0.90 (3×6)	0.29(15×23)	0.20 (1×1)	0.16 (3×3)	0.12 (3×3)	0.47 (8×5)	
		0.15(3×3)	0.85(11×10)	0.29 (2×2)	0.20 (1×1)	0.15 (3×3)	0.11 (4×4)	0.35 (2×2)	
			0.61(15×11)	0.29 (8×7)	0.19 (2×2)	0.14 (2×2)	0.10 (4×4)	0.20 (2×3)	
			0.46 (3×5)	0.27 (9×9)	0.19 (4×7)	0.14 (2×2)	0.10 (4×4)	0.19 (6×7)	
			0.37 (2×2)	0.25 (3×3)	0.19 (5×7)	0.14 (6×3)	0.08 (2×2)	0.16 (3×2)	
			0.33 (6×6)	0.24 (2×2)	0.18 (3×2)	0.14 (2×2)		0.14 (3×3)	
			0.32 (8×6)	0.24 (2×2)	0.18 (2×2)	0.13 (2×1)		0.13 (4×4)	
			0.31 (4×5)	0.23 (3×4)	0.18 (3×3)	0.13 (8×14)			
		2ヵ所	0.29 (7×8)	0.22 (3×3)	0.16 (4×5)	0.13 (2×2)	41ヵ所		7ヵ所
西 側	母 材 部	0.37(3×3)	0.48 (7×8)	0.27 (4×4)	0.15 (5×3)	0.11 (3×5)		0.50 (3×2)	
		0.30(1×2)	0.46(15×11)	0.26 (3×3)	0.15 (5×4)	0.11 (1×1)		0.43 (4×4)	
		0.26(3×4)	0.37 (4×4)	0.25 (5×3)	0.15 (2×5)	0.10 (3×3)		0.31 (3×2)	
		0.25(2×3)	0.35 (2×2)	0.25 (1×1)	0.13 (6×7)	0.10 (3×2)		0.28 (4×4)	
		0.24(5×2)	0.34 (2×2)	0.23 (8×4)	0.13 (4×4)	0.09 (4×3)		0.23 (3×4)	
		0.15(1×1)	0.31 (3×4)	0.21 (3×3)	0.12 (4×3)	0.08 (3×3)			
			0.31 (1×1)	0.20 (1×1)	0.12 (4×3)	0.06 (2×2)			
			0.30 (5×4)	0.17 (3×3)	0.12 (3×2)	0.06 (5×5)			
		6ヵ所	0.28 (3×3)	0.17 (4×6)	0.11 (2×3)		35ヵ所		5ヵ所
	溶 接 部	な し	貫通 (27×16)/(8×6)	0.37 (6×2)	0.29 (7×8)	0.20 (8×9)	0.13 (4×3)	貫通 (32×8)/(3×3)	
			貫通 (9×8)/(5×7)	0.36 (8×8)	0.29 (6×3)	0.20 (5×5)	0.11 (4×4)		
			0.66(12×11)	0.35 (4×3)	0.29 (4×2)	0.19 (6×5)		1.05 (7×6)	0.33 (4×2)
			0.47(30×30)	0.35(10×13)	0.28 (3×3)	0.19 (7×4)		0.74 (6×6)	0.24 (5×3)
			0.44 (8×6)	0.34 (4×4)	0.28 (4×6)	0.18 (4×2)		0.42 (3×1)	0.21 (8×28)
			0.43 (7×5)	0.34 (2×2)	0.25 (5×6)	0.16 (3×3)		0.41 (9×6)	0.19 (8×5)
			0.42 (8×13)	0.32 (3×3)	0.25 (5×5)	0.14 (3×3)		0.39 (4×5)	0.16 (2×2)
			0.42 (4×4)	0.32(20×11)	0.22 (2×5)	0.14 (5×4)		0.38 (5×6)	
			0.39 (4×5)	0.31(13×11)	0.20 (1×1)	0.13 (5×5)	38ヵ所	0.36 (8×45)	13ヵ所

貫通部は局部腐食の (表面の腐食のたて×よこ) / (底部のタテ×ヨコ) で示した。

6.2.5 ステンレス鋼の電気防食試験

(1) 第1回電気防食試験

1989年から2年間、自然浸漬（電位： $-73\sim 310\text{mV}(\text{SCE})$ ）状態にあった試験材と電気防食適用（電位：約 $-930\sim -970\text{mV}(\text{SCE})$ ）状態にあった試験材を回収し腐食の状況を調査した。その結果、自然浸漬試験材には、隙間付与部、付着生物下で隙間腐食が発生した。その記録を図-6・3、表-6・28に示した。これに対し電気防食適用試験材は、隙間付与部にも他の部分にも腐食が全く認められなかった。

(2) 第2回電気防食試験

1991年10月に、第1回電気防食試験と同一条件の試験材で電位を -500mV 、 $-770\text{mV}(\pm 100\text{mV}$ の範囲：SCB)に調整して供試し、試験を開始した。前述したように -550mV はSUS316L単独、 -770mV はSUS316Lと鋼材が組合わされた使用状態を想定したものである。

1993年度は、これらの2年間試験を実施したA-1-8とA-1-9の試験材を回収してシュリンクチューブによる隙間付与部と生物付着下での隙間腐食発生の有無を調査した。

回収までの電位と電流密度を表-6・29にまとめた。通電直後は、大きな電流密度を必要としたが、徐々に小さくなり約10ヵ月後の測定では、設定電位が -500mV のA-1-8の場合 $24\text{mA}/\text{m}^2$ 、 -770mV のA-1-9の場合 $50\text{mA}/\text{m}^2$ となった。約22ヵ月後では、 -500mV の場合が $33\text{mA}/\text{m}^2$ 、 -770mV の場合が $91\text{mA}/\text{m}^2$ とやや大きい電流密度を示したが、これは測定時の波浪の影響と推測される。

観察記録を図-6・4～6・5に示した。その結果、A-1-8とA-1-9の2本の試験材とも、母材部と溶接線の隙間付与部、生物付着下においても隙間腐食の発生は認められなかった。

(3) 第3回電気防食試験

1993年度は、ステンレス鋼種をSUS304に変更し、その他は同一条件で電位を -500mV 、 $-770\text{mV}(\pm 100\text{mV}$ の範囲：SCE)に調整して供試した。電気防食を適用しない自然浸漬試験材も同時に供試した。試験開始前後の電位および電流密度の測定結果を表-6・30に示した。通電は2年間の予定である。

表-6-28 局部腐食の深さと大きさ（非電気防食材）

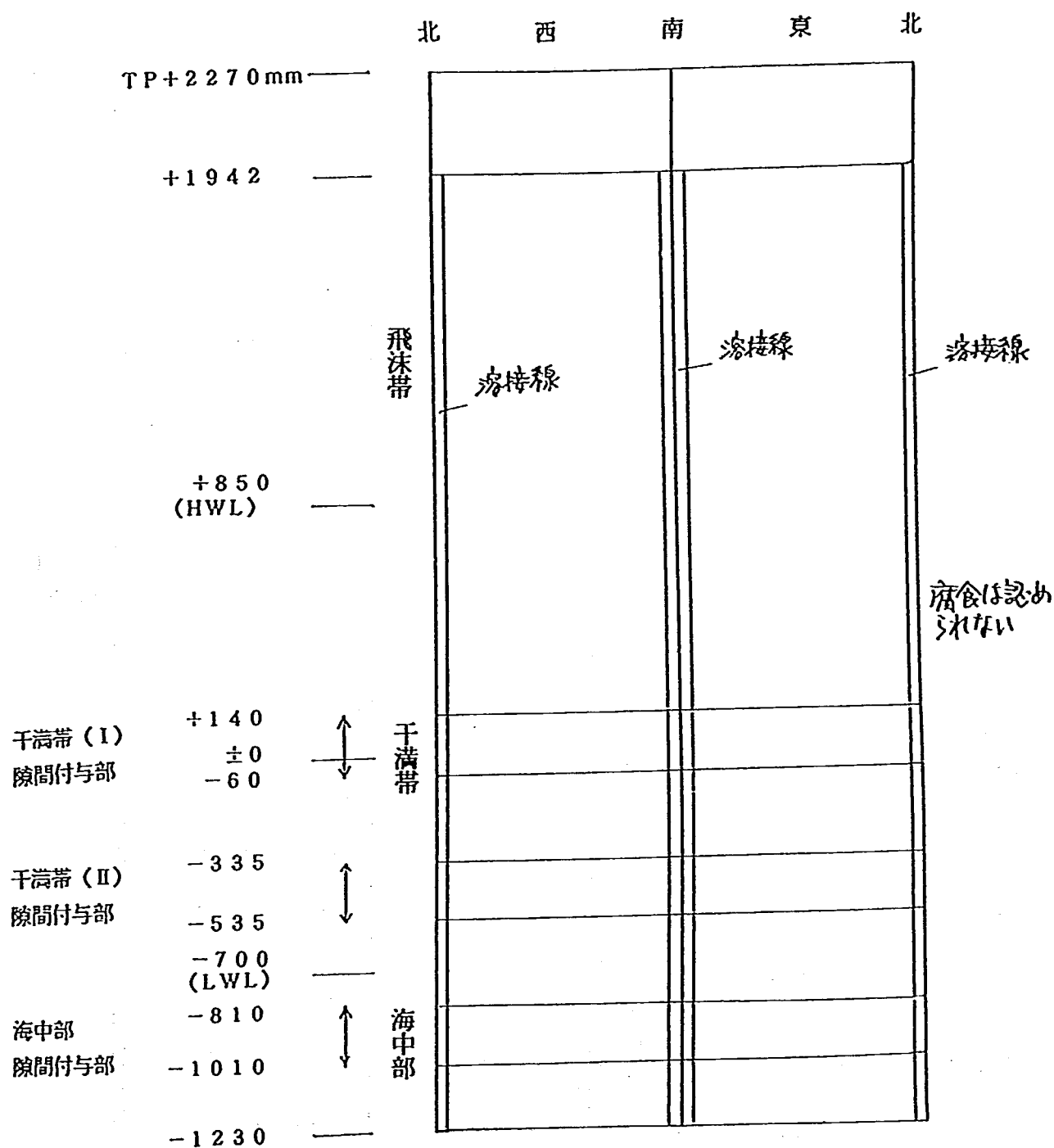
No. A - 1 - 6 (SUS316L鋼)

(第1回) 表示：深さ (タテ×ヨコ) [単位：mm]

		干満帯 (+ 8 5 0 ~ - 7 0 0 mm)		海中部 (- 7 0 0 ~ - 1 2 3 0 mm)		
		非 隙 間 付 与 部	隙 間 付 与 部		非 隙 間 付 与 部	隙 間 付 与 部
			(I)	(II)		
南 側	溶 接 部	3.61 (3×5) 2.88 (2×3) 2.40 (2×4) 0.97 (8×2) 0.82 (6×6) 0.74 (7×4) 0.71 (3×1) 0.55 (1×2) 0.48 (1×1) 0.32 (5×4) 0.22 (7×2) 0.18 (8×3) 0.14 (4×3) 0.08 (8×2) 14ヵ所	3.33(15×28) 0.62 (4×4) 2ヵ所	0.78 (5×6) 0.78 (3×8) 2ヵ所	5.45 (5×6) 4.35 (3×3) 3.69(10×2) 3.66 (4×6) 1.76 (2×2) 1.31 (3×4) 1.29 (6×6) 1.11 (3×1) 0.97 (3×2) 0.62(21×4) 0.57(11×6) 0.33(10×3) 12ヵ所	2.38(40×35) 2.25(13×30) 2ヵ所
	母 材 部	0.47 (7×7) 0.41(10×4) 0.38 (8×5) 0.29(10×7) 0.26 (5×4) 0.25 (6×5) 0.20 (3×3) 0.17 (3×4) 0.16 (3×3) 0.15 (6×4) 0.14 (6×3) 0.10 (4×4) 12ヵ所	1.25(15×40) 0.95(12×24) 0.50 (4×10) 0.18 (4×6) 0.13 (3×9) 0.03 (6×10) 6ヵ所	3.41(29×35) 1.44 (6×9) 1.32(22×7) 1.01(20×70) 0.52 (6×15) 5ヵ所	1.05 (3×2) 0.09 (3×3) 0.09 (1×1) 0.08 (3×3) 4ヵ所	2.38(30×40) 1.17(10×35) 0.98(20×52) 0.25 (7×15) 4ヵ所
北 側	母 材 部	0.37(20×13) 0.18 (5×5) 0.19 (4×3) 0.15 (6×6) 0.12 (6×6) 0.10 (2×3) 0.08 (6×4) 0.07 (3×4) 0.06 (4×7) 0.04 (2×4) 0.03 (7×7) 0.03 (2×2) 0.02 (7×5) 13ヵ所	1.28(25×105) 1ヵ所		0.20 (4×4) 0.18 (5×4) 0.18 (2×4) 0.14 (2×2) 0.10 (5×5) 5ヵ所	1.63(30×90) 1ヵ所

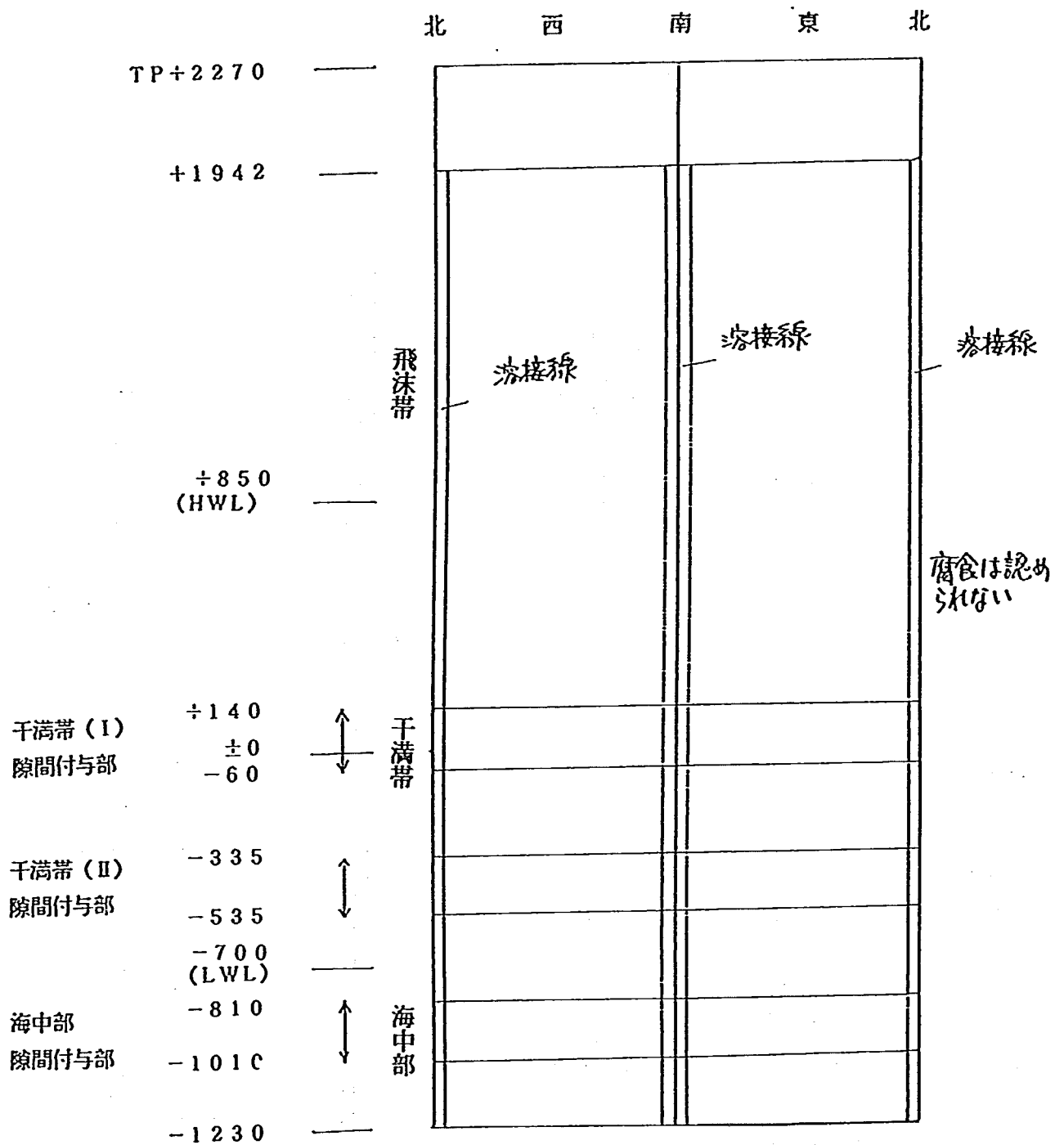
表-6・29 SUS304鋼隙間付与部試験材の電気防食試験 (第2回)

年 月 日	経 過	A - 1 - 8		A - 1 - 9	
		設定電位 : - 500m V S C E		設定電位 : - 770m V S C E	
	日 数	電 位 (mV)	電流密度 (mA / m ²)	電 位 (mV)	電流密度 (mA / m ²)
'91.10. 3 '91.10. 4	取付け 通電前	- 134		- 169	
'91.10. 4	通電 直後	- 570	394	- 800	689
'91.11.17	43	- 540	147	- 790	174
'92. 7.25	324	- 495	34	- 750	75
'92. 8. 1	331	- 515	24	- 780	50
'93. 8. 2	697	- 533	3	- 691	91
'93. 8.20	回収				



試験材NoA-1-8
回収 199 年

図-6・4 SUS316L鋼電気防食試験材の腐食発生状況 (第2回) -500mV. SCE. 2年間



試験材NoA-1-9
回収 199 年

図-6・5 SUS316L鋼電気防食試験材の腐食発生状況 (第2回) -770mV. SCE. 2年間

表-6・30 SUS304鋼隙間付与部試験材の電気防食試験（第3回）

年 月 日	経 過	D - 7		D - 8	
		設定電位：-500mV SCE		設定電位：-770mV SCE	
	日 数	電 位 (mV)	電流密度 (mA/m ²)	電 位 (mV)	電流密度 (mA/m ²)
'93. 8. 30	取付け 通電前	-110		-39	
'93. 8. 30	通電 直後	-500	282	-820	502
'93. 10. 20		-550	29	-820	58

6.2.6 まとめ

1984年3月に開始した研究テーマ1「高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト防食技術の確立」に関する試験は、1993年8月調査時で9年5ヵ月を経過するが、1993年度の調査結果を要約すると次のとおりである。

(1) 飛沫帯における耐食性金属被覆の腐食

飛沫帯では、生物の付着が非常に少なく、この環境に暴露した耐食性金属にみられる腐食の主な形態は、点錆や点食である。9年5ヵ月後の観察では、ステンレス鋼系の一部の試験材の隙間付与部や付着生物下に僅かな隙間腐食が発生したほかは、表面の変色および上部取付部からのもらい錆や錆汁がみられたのみであった。

1) 非隙間付与部

① ステンレス鋼材

隙間部を構成しない表面では、すべての試験材に腐食は認められなかった。

回収したSUS316L鋼9年5ヵ月隙間付与のA-1-3材および3年後から6年間隙間付与のA-5材では、HWL付近で隙間腐食が発生していたがいずれも付着生物下であった。

② 非鉄金属被覆材

3年5ヵ月後から6年間隙間を付与したキュプロニッケル(A-10-2)はうすい緑色の腐食生成物を生じた。同条件のモネル(A-11-2)では、全面に斑点状の緑色の腐食生成物があり、溶接部の一部には線状に緑色の腐食生成物を生じていた。

その他の試験材には異状は認められなかった。

③ 金属被覆+塗装材

表層に軽いチョーキングがみられるが、その他異状は認められなかった。

2) 隙間付与部

SUS316L(A-1-3, A-5)の隙間を付与した部分に数箇所隙間腐食が発生していた。その他の部分およびその他の試験材は異状なかった。

(2) 干満帯における耐食性金属被覆の腐食

干満帯では潮の干満変化にともなう乾湿の繰り返し、水かぶりの変化による酸素供給の変化、波浪による海水流動や飛沫および付着生物などが、耐食性金属にとって苛酷な環境となり、とくに隙間部が形成される条件下ではその影響が目立った。

3年5ヵ月後から6年間隙間付与し、通算9年5ヵ月経過後の調査では、干満帯から海中部にかけて隙間付与部で異状がないのは、キュプロニッケル(A-10-2)、モネル(A-11-2)およびチタン(A-13-A)であった。他はいずれも隙間腐食が発生した。

付着生物下で異状がないのは同条件で経過したチタン (A-13-A) のみであった。

1) 非隙間付与部

① ステンレス鋼材

隙間部を構成しない表面すなわち付着生物を含む他の異物の接触、析出、付着などのない暴露面ではすべての試験材に異状はなかった。

9年5ヵ月後に回収した試験材の付着生物下ではほとんど隙間腐食が発生していた。SUS316L鋼の铸込み圧延クラッド材(A-5)の母材部では金属被覆の貫通が認められたが、オーステナイト系(A-3系)および二相系(A-7-1)の隙間腐食はわずかであった。

② 非鉄金属被覆材

3年5ヵ月後から6年間隙間付与したキュプロニッケル(A-10-2)は表面層から銅成分のわずかな溶解があり、浅い凹みもみとめられた。

同条件のモネル(A-11-2)では全面に斑点状の緑色腐食生成物が生じ、とくに溶接部の一部には、溶接線にそって緑色腐食生成物が生じていた。さらに溶接部では、2年5ヵ月経過後の一時回収調査から確認された溶接線にそって素地鋼管に達する溝状の腐食が認められた。

また、同条件のチタン(A-13-A)には異状は認められなかった。

③ 金属被覆+塗装材

回収調査は実施していないが、外観的な異状は発生していない。

2) 隙間付与部

① ステンレス鋼材

干満帯および海中部において人工隙間を試験開始より9年5ヵ月付与したオーステナイト系(A-1-3, A-2-3, A-3-3), フェライト系(A-4-3)および試験開始3年5ヵ月後より6年間付与したSUS316L鋼の铸込み圧延クラッド材(A-5)、二相系(A-7-1, A-8-2, A-9-1)にはすべて隙間腐食が発生した。とくにA-1-3, A-3-3, A-5の溶接部では3mmの被覆金属を貫通していた。

② 非鉄金属被覆材

試験開始3年5ヵ月後より6年間隙間を付与したキュプロニッケル(A-10-2)、モネル(A-11-2)、チタン(A-13-A)には異状は認められなかった。

(3) ステンレス鋼の電気防食

2年5ヵ月および5年5ヵ月経過後の詳細調査等でオーステナイト系(A-1-3, A-2-3, A-3-3), フェライト系(A-4-3)の干満帯や海中部で付着生物下または隙間付与部で隙間腐食が認められたため、これらの隙間腐食を防止する目的で、1989年よりSUS316L鋼に電気防食を適用する第1回試験を開始した。

最初の2年間は、電気防食を施した施設本体とボンドした条件(-930~-970mV(SCE))で試験をおこない、隙間腐食防止の効果が確認された。

1991年からは、電位を-500mVと-770mVとに調整する第2回試験を開始し、2年後の1993年度に回収調査をおこなった。その結果、両電位の試験材とも隙間腐食が全く認められなかった。

6.3 研究テーマ2

1984年3月開始以来、9年5ヵ月を経過した1993年7月の調査結果は、次のとおりである。

6.3.1 外観

試験材の外観観察は目視により行い、表面状況を所定の記録票(Ⅱ)に記入した。記録票の記入要領は、研究テーマ1の場合と同様である。記録票は外観記録写真とともに別冊としてまとめた。

9年5ヵ月経過後の外観観察結果を表-6・31に示す。それらを要約すると次のとおりである。

(1) 裸材

普通鋼、耐海水鋼とも全面的に赤錆に覆われ、さびこぶが発生していた。さびこぶの数は、普通鋼よりも耐海水鋼がやや少なかった。

(2) 塗装材

試験材を設置した状態での観察では、全体的には上端部付近やエッジ部を除けば大部分の塗膜は健全な状態であった。しかし、上端部付近には、ボルト穴の上部などで点錆が集中している部分があり、またエッジ部では小さなあて傷と錆が認められた。また、B-2系試験材では、ふくれが5ヵ所、ふくれに起因すると考えられるクラックが5ヵ所、B-5系試験材では、ふくれが5ヵ所認められた。これらのふくれは、B-2系試験材では3年5ヵ月後、B-5系試験材では5年5ヵ月後の観察時から認められている。

6.3.2 生物付着状況

試験材の生物付着状況の観察結果は、前述の記録票(Ⅱ)に記入した。付着生物は、イガイ、フジツボ、カキ類等で、研究テーマ1のほとんどの試験材と同じ様に付着していた。

また、参考として昨年まで実施した生物付着量調査結果も表-6・32に示した。

採取位置は、年度毎に異なるように配慮した上で海中部水平材の上方700mm (TP-700mm)を基準とし、100×100mmの範囲から付着生物をプラスチックベラで採集しkg/m²に換算した。

(研究テーマ2)

表-6-31 耐海水鋼系試験材の外観観察結果

(9年5ヵ月)

No.	鋼 種	成 分 系	防 食 仕 様	外 観
B-1 (4本)	耐海水鋼	Cu-Cr-P鋼	裸材(ブラスト処理)	全面赤錆、一部さびこぶ散在
B-2 (3本)		Cu-Cr-P鋼	無機ジंकリッチ(75 μ m) + タールエボキシ(300 μ m $\times$ 2回)	飛沫帯上端部付近に点錆散在3ヵ所 飛沫帯上部のエッジ部に赤錆散在5ヵ所 飛沫帯上部にふくれ1ヵ所、下部に4ヵ所 飛沫帯上部にクラック1ヵ所、下部に4ヵ所
B-3 (3本)		L.C.-Cu-P系	無機ジंकリッチ(75 μ m) + タールエボキシ(300 μ m $\times$ 2回)	飛沫帯上端部付近に点錆散在3ヵ所 飛沫帯上部のエッジ部に赤錆散在6ヵ所 H.W.L.付近に白い腐食生成物2ヵ所
B-4 (4本)	普通鋼	SS400	裸材(ブラスト処理)	全面赤錆、さびこぶ散在
B-5 (3本)			無機ジंकリッチ(75 μ m) + タールエボキシ(300 μ m $\times$ 2回)	飛沫帯上端部付近に点錆散在3ヵ所 飛沫帯上部のエッジ部に赤錆散在6ヵ所 飛沫帯上部にふくれ5ヵ所 白い腐食生成物3ヵ所

表-6-32 試験材に対する生物付着量

〔単位：kg/m²〕

(研究テーマ2)

系	鋼種	成分系	1984年 (4ヵ月後)		1985年 (1年4ヵ月後)		1986年 (2年5ヵ月後)			1987年 (3年5ヵ月後)		
			No.	採取直後	No.	採取直後	No.	採取直後	乾燥後	No.	採取直後	乾燥後
B-1	耐海水鋼	Cr-Cu-P 鋼	B-1-1	30	B-1-2	62	B-1-3	104	48.9	B-1-4	29.9	19.4
B-4	普通鋼	SS400	B-4-1	25	B-4-2	36	B-4-3	190	94.3	B-4-4	25.9	17.6

系	鋼種	成分系	1988年 (4年5ヵ月後)			1989年 (5年5ヵ月後)			1990年 (6年5ヵ月後)		
			No.	採取直後	乾燥後	No.	採取直後	乾燥後	No.	採取直後	乾燥後
B-1	耐海水鋼	Cr-Cu-P 鋼	B-1-5	15.5	5.5	B-1-3 (西)	34.5	16.0	B-1-4 (西)	93.0	40.5
B-4	普通鋼	SS400	B-4-5	71.5	40.0	B-4-3 (北)	54.5	30.0	B-4-4 (北)	95.5	58.5

系	鋼種	成分系	1991年 (7年5ヵ月後)			1993年 (9年5ヵ月後)		
			No.	採取直後	乾燥後	No.	採取直後	乾燥後
B-1	耐海水鋼	Cr-Cu-P 鋼	B-1-5 (西)	61.0	35.5	B-1-4 (東)	7.5	4.5
B-4	普通鋼	SS400	B-4-5 (北)	38.5	24.5	B-4-4 (南)	15.5	9.0

注) (1) 100×100(mm) の面積から採取、
kg/m²に換算。

(2) 採取直後と乾燥後の測定日

年	採取直後	乾燥後
1984年	1984年 8月 8日	—
1985年	1985年 8月11日	—
1986年	1986年 7月25日	1986年12月 2日
1987年	1987年 8月 5日	1987年11月20日
1988年	1988年 8月 5日	1988年11月30日
1989年	1989年 7月25日	1989年11月 6日
1990年	1990年 8月26日	1990年10月18日
1991年	1991年 7月16日	1991年10月14日
1993年	1993年10月21日	1993年11月18日

6.3.3 塗装材の膜厚、交流抵抗およびピンホール

塗装した耐海水鋼（B-2系、B-3系）、普通鋼（B-5系）試験材について研究テーマ1と同じ方法、同じ位置で膜厚、交流抵抗、およびピンホールを測定した。表-6・33～6・35に測定結果を示した。

膜厚、交流抵抗の測定値には、若干の変動がみられるものの、塗膜劣化を示すものとは考えられなかった。ピンホールは、試験材上端部付近に多数存在したが、その他ではほとんどなかった。

表-6・33 塗膜の膜厚測定結果

(研究テーマ2)

(単位: μm)

№	銅種 成分系	試験材 №	塗装仕様	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1993年
B-2	耐海水銅 Cu-Cr-P系	B2-1	無機珪酸 ペイント (75 μm) + 有機珪酸 (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	550 500 480	500 400 480	480 460 460	480 480 470	440 430 440	420 430 420	—	—	—
		B2-2		770 710 700	750 640 660	750 750 730	670 710 710	660 690 680	670 660 690	725 700 740	730 720 700	700 720 690
		B2-3		820 800 820	800 840 760	770 760 770	750 750 770	730 750 730	690 710 720	710 740 780	730 730 730	730 730 750
		B2-4		640 700 750	820 800 820	660 680 670	750 670 700	700 650 670	690 670 710	690 660 700	650 660 650	650 650 640
B-3	耐海水銅 L.C.-P-Cu系	B3-1	無機珪酸 ペイント (75 μm) + 有機珪酸 (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	820 800 720	710 680 720	750 700 800	770 800 750	800 650 730	720 700 690	—	—	—
		B3-2		570 600 590	560 550 500	600 590 590	570 590 550	530 540 530	560 570 580	560 580 600	570 560 570	550 570 570
		B3-3		660 580 680	600 600 600	570 650 640	610 640 610	580 590 520	590 580 600	650 600 650	600 620 610	610 600 630
		B3-4		650 610 650	650 610 610	620 600 640	640 580 660	600 590 600	540 550 580	610 600 580	610 640 620	600 590 600
B-5	普通鋼 SS400	B5-1	無機珪酸 ペイント (75 μm) + 有機珪酸 (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	850 820 980	690 800 650	780 760 780	790 810 700	740 750 750	710 720 710	—	—	—
		B5-2		800 700 700	760 750 580	720 700 690	730 680 660	650 660 650	620 630 640	680 670 670	660 670 680	680 700 680
		B5-3		480 530 500	440 480 510	460 460 450	470 450 430	420 440 440	460 470 460	480 500 480	460 440 450	430 440 440
		B5-4		900 850 850	800 710 620	800 760 820	800 770 750	710 700 700	720 730 740	810 800 810	770 770 780	760 760 770

表-6-34(1) 塗膜の交流抵抗測定結果

(単位: $\Omega \cdot \text{cm}$)

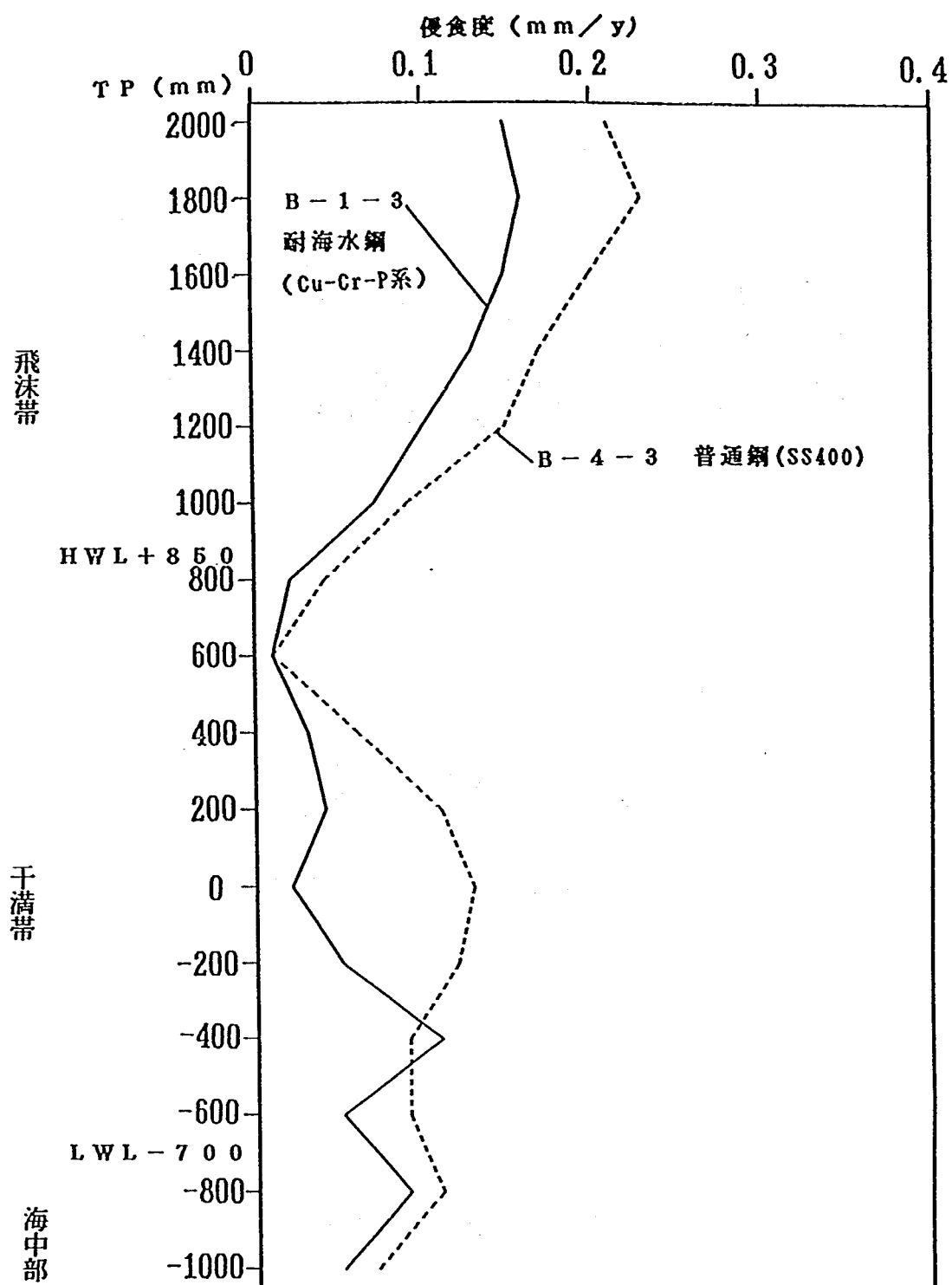
No.	鋼 種 成分系	試験材 No.	塗 装 仕 様	1984年 (1 KHz)	1985年 (1 KHz)	1986年 (1 KHz)	1987年 (1 KHz)	1988年 (1 KHz)	1989年 (1 KHz)	1990年			1991年		
										(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1 KHz)	(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1 KHz)
B-2	耐海水鋼 Cu-Cr-P系	B2-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + ターレット (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	3.30×10^7	1.29×10^7	2.35×10^7	1.28×10^8	8.75×10^7	1.68×10^8	—	—	—	—	—	—
		B2-2		2.72×10^8	1.88×10^7	4.40×10^7	1.33×10^8	2.27×10^8	1.41×10^8	3.02×10^8	2.41×10^8	1.62×10^8	1.20×10^8	7.85×10^7	5.88×10^7
		B2-3		4.43×10^7	1.42×10^7	4.62×10^7	1.36×10^8	2.44×10^8	1.40×10^8	5.43×10^8	2.64×10^8	1.72×10^8	7.80×10^8	4.60×10^8	2.90×10^8
		B2-4		3.88×10^7	2.85×10^7	6.69×10^7	1.43×10^8	2.63×10^8	1.22×10^8	7.82×10^8	2.32×10^8	9.65×10^7	5.55×10^8	3.25×10^8	2.44×10^8
B-3	耐海水鋼 L.C.-P-Cu系	B3-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + ターレット (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	2.46×10^8	1.09×10^7	3.14×10^7	2.03×10^8	1.36×10^8	1.05×10^8	—	—	—	—	—	—
		B3-2		3.12×10^7	1.31×10^7	4.49×10^7	1.36×10^8	9.67×10^7	1.06×10^8	7.27×10^8	3.90×10^8	2.45×10^8	8.70×10^8	3.90×10^8	2.42×10^8
		B3-3		2.24×10^7	1.05×10^7	3.81×10^7	1.27×10^8	1.51×10^8	2.20×10^8	4.17×10^8	3.13×10^8	2.18×10^8	4.48×10^8	2.29×10^8	1.51×10^8
		B3-4		1.08×10^7	8.75×10^8	8.03×10^7	1.06×10^8	1.51×10^8	1.79×10^8	7.86×10^8	3.18×10^8	2.03×10^8	5.80×10^8	2.80×10^8	1.81×10^8
B-5	普通鋼 SS400	B5-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + ターレット (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	1.04×10^8	9.48×10^8	4.92×10^7	1.22×10^8	1.65×10^8	1.36×10^8	—	—	—	—	—	—
		B5-2		1.40×10^8	1.02×10^7	6.83×10^7	1.32×10^8	1.53×10^8	3.21×10^8	7.00×10^8	5.07×10^8	3.27×10^8	2.78×10^8	1.57×10^8	1.14×10^8
		B5-3		1.75×10^8	7.68×10^8	4.15×10^7	1.22×10^8	1.68×10^8	7.41×10^7	8.45×10^8	4.31×10^8	2.76×10^8	3.78×10^8	1.96×10^8	1.35×10^8
		B5-4		7.85×10^8	1.08×10^7	8.69×10^7	1.02×10^8	2.34×10^8	1.05×10^8	9.75×10^8	3.60×10^8	2.41×10^8	2.95×10^8	1.54×10^8	1.02×10^8

表-6・34(2) 塗膜の交流抵抗測定結果

(研究テーマ2)

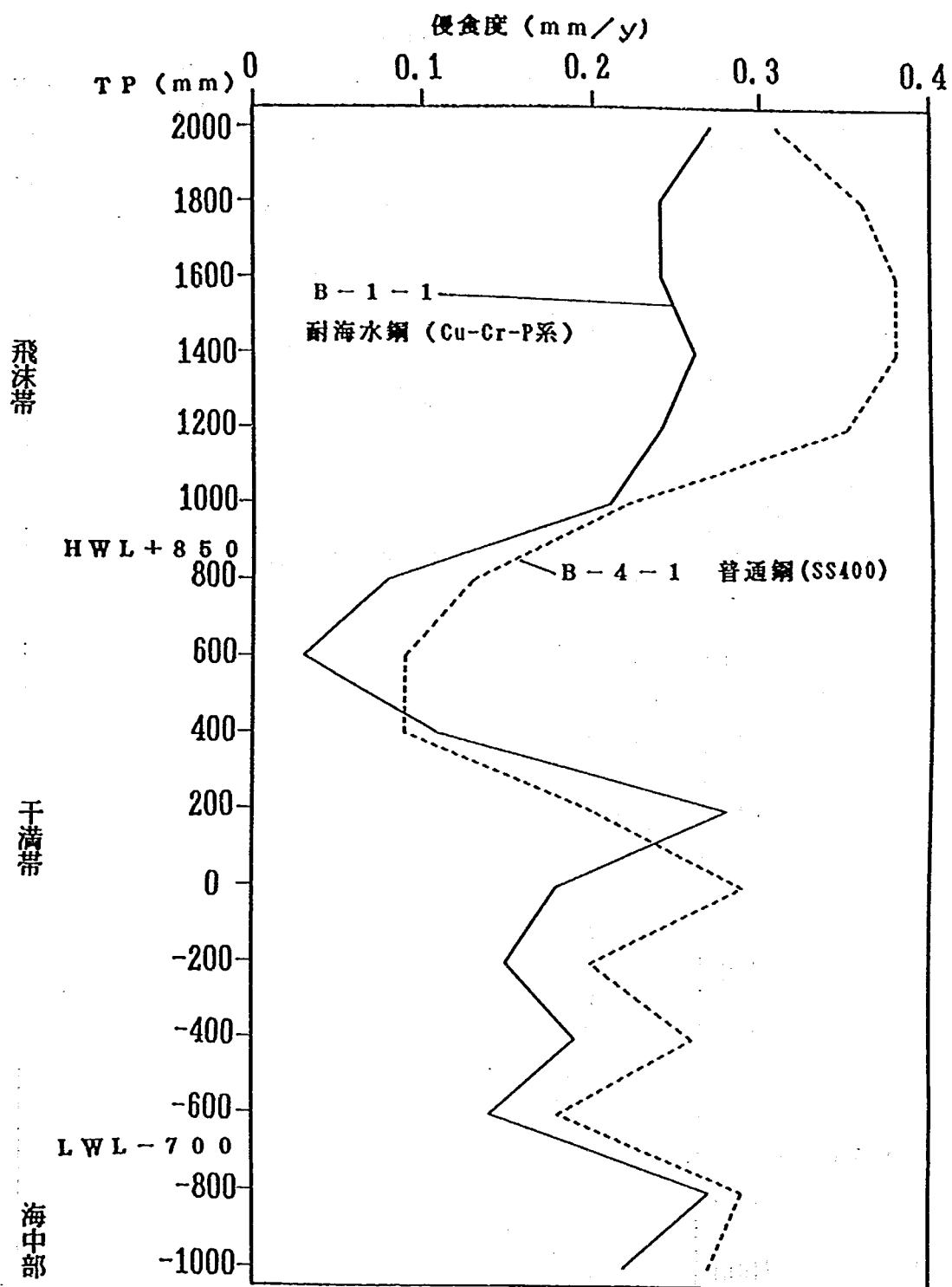
(単位: $\Omega \cdot \text{cm}^2$)

No.	鋼種 成分系	試験材 No.	塗装仕様	1992年			1993年		
				(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)	(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
B-2	耐海水鋼 Cu-Cr-P系	B2-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + タールエポキシ (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	—	—	—	—	—	—
		B2-2		9.37×10^8	4.56×10^8	2.53×10^8			
		B2-3		9.82×10^8	4.87×10^8	2.91×10^8	9.63×10^8	5.21×10^8	3.25×10^8
		B2-4		9.95×10^8	5.19×10^8	3.03×10^8	5.31×10^8	3.16×10^8	2.10×10^8
B-3	耐海水鋼 L.C.-P-Cu系	B3-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + タールエポキシ (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	—	—	—	—	—	—
		B3-2		5.80×10^8	3.02×10^8	1.88×10^8			
		B3-3		5.42×10^8	3.06×10^8	1.84×10^8	4.06×10^8	2.33×10^8	1.57×10^8
		B3-4		6.48×10^8	3.16×10^8	1.97×10^8	4.57×10^8	2.70×10^8	1.35×10^8
B-5	普通鋼 SS400	B5-1	無機シリケート ペイント (75 μm) + タールエポキシ (300 $\mu\text{m} \times 2$ 回)	—	—	—	—	—	—
		B5-2		2.33×10^8	1.18×10^8	7.45×10^7			
		B5-3		2.07×10^8	1.32×10^8	8.98×10^7	2.79×10^8	1.63×10^8	1.05×10^8
		B5-4		2.45×10^8	1.40×10^8	9.13×10^7	3.06×10^8	1.89×10^8	1.31×10^8

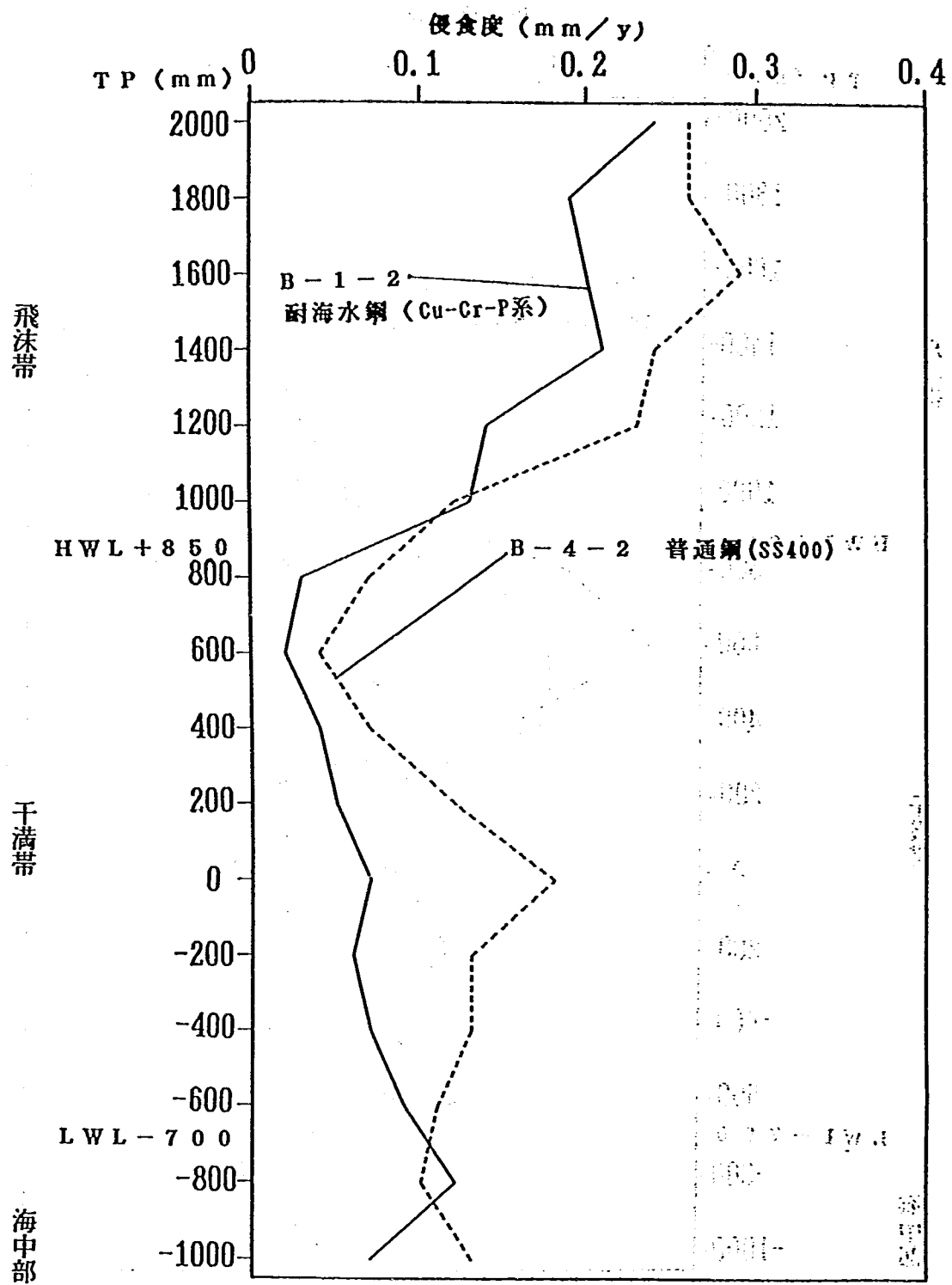


回収 1993年

図-6.7 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (9年5ヵ月)



回収 1986年
 図-6・8 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (2年5ヵ月)



回収 1989年
図-6-9 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (5年5ヵ月)

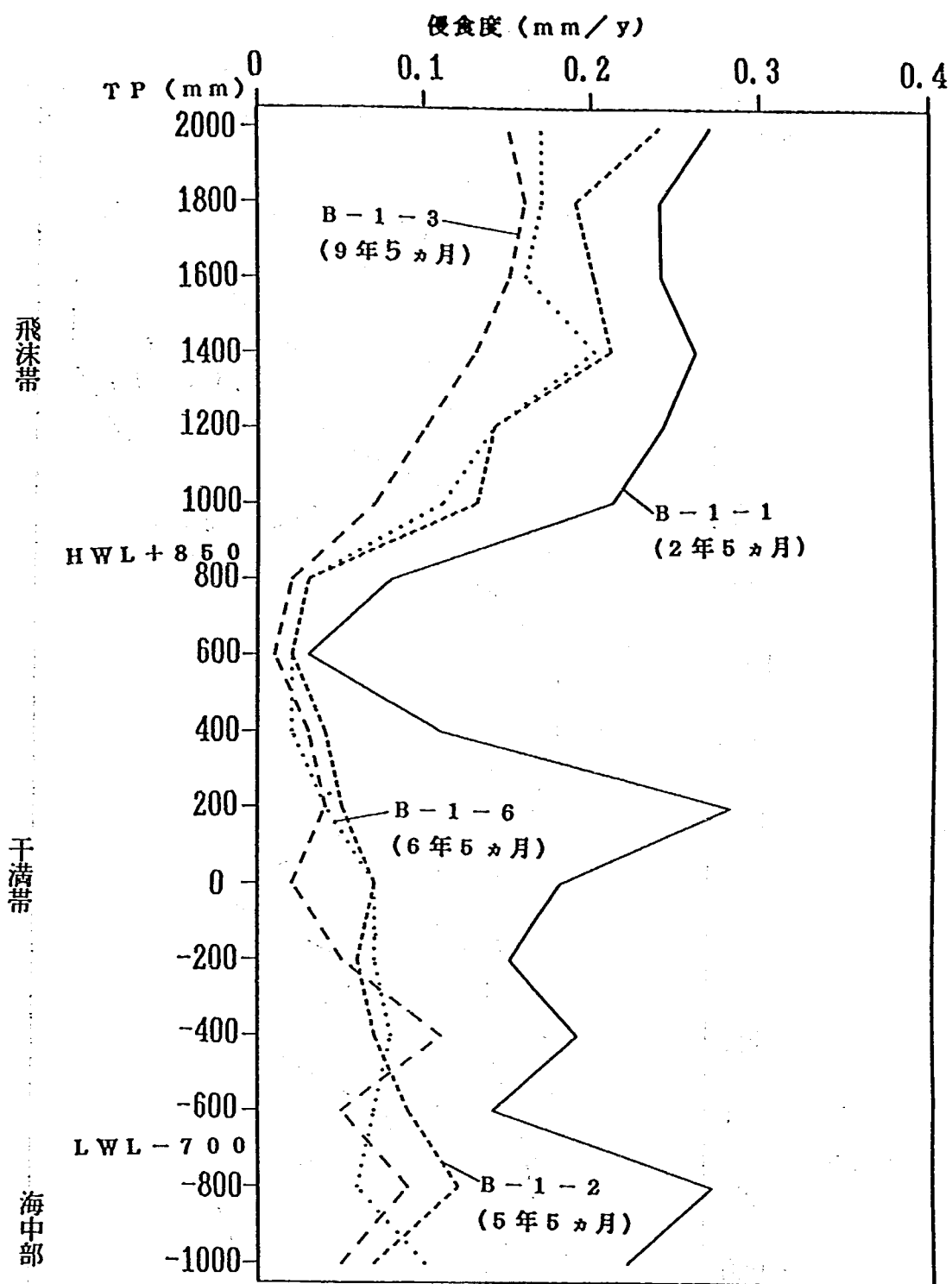


図-6.10 耐海水鋼の侵食度の経時変化

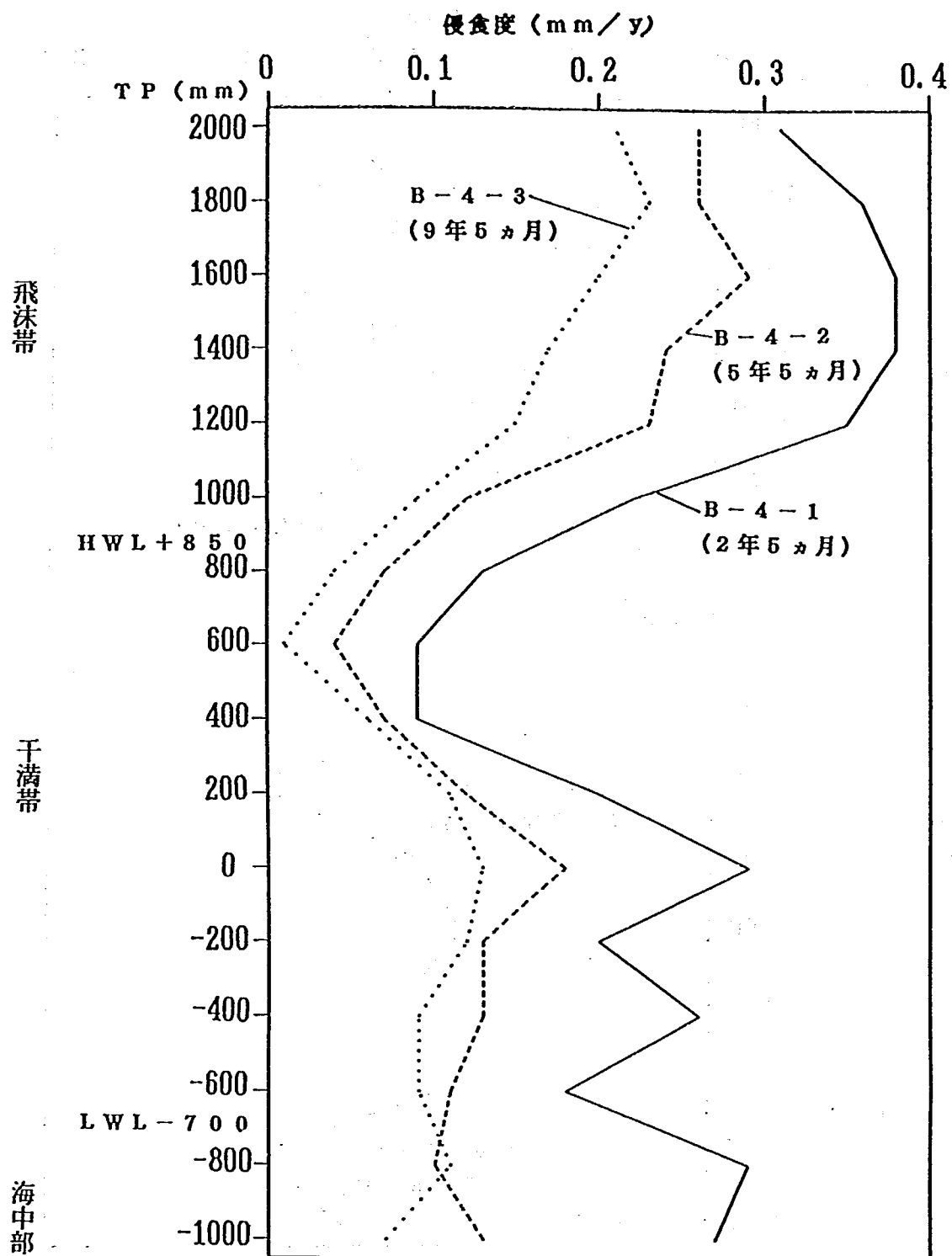


図-6.11 普通鋼の侵食度の経時変化

表-6・35 塗膜のピンホール測定結果

(研究テーマ2)

№	鋼種 成分系	試験材 №	塗装仕様	1989年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1993年
B-2	耐海水鋼 Cu-Cr-P系	B2-1	無機珪酸系 ペイント (75 μ m) + ナニシ (300 μ m $\times$ 2回)	なし	なし	なし	なし	1カ所 エッジ部	5カ所 上端部付近 3カ所 エッジ部	—	—	—
		B2-2		なし	なし	なし	なし	なし	15カ所 上端部付近	3カ所 上端部付近 3カ所 一般部	多数 上端部付近	—
		B2-3		なし	なし	なし	なし	なし	10カ所 上端部付近 2カ所 一般部	2カ所 一般部	多数 上端部付近 1カ所 一般部	多数 上端部付近
		B2-4		なし	なし	なし	2カ所 エッジ部	2カ所 エッジ部	2カ所 上端部付近 10カ所 エッジ部	多数 上端部付近	多数 上端部付近	多数 上端部付近
B-3	耐海水鋼 L.C.-P-Cu系	B3-1	無機珪酸系 ペイント (75 μ m) + ナニシ (300 μ m $\times$ 2回)	なし	なし	なし	なし	なし	15カ所 上端部付近	—	—	—
		B3-2		なし	なし	なし	1カ所 エッジ部	1カ所 エッジ部	6カ所 一般部	多数 上端部付近 3カ所 エッジ部	多数 上端部付近 3カ所 エッジ部	—
		B3-3		なし	なし	なし	1カ所 エッジ部	なし	10カ所 上端部付近	なし	なし	なし
		B3-4		なし	なし	なし	なし	なし	1カ所 一般部 1カ所 エッジ部	2カ所 エッジ部	多数 上端部付近 2カ所 エッジ部	多数 上端部付近
B-5	普通鋼 SS400	B5-1	無機珪酸系 ペイント (75 μ m) + ナニシ (300 μ m $\times$ 2回)	なし	なし	なし	なし	1カ所 エッジ部	5カ所 一般部	—	—	—
		B5-2		なし	なし	なし	なし	なし	1カ所 一般部 1カ所 エッジ部	1カ所 エッジ部	1カ所 エッジ部	—
		B5-3		なし	なし	なし	1カ所 エッジ部	なし	6カ所 上端部付近	3カ所 エッジ部	多数 上端部付近 3カ所 エッジ部	多数 上端部付近
		B5-4		なし	なし	なし	なし	なし	3カ所 一般部	1カ所 エッジ部	1カ所 エッジ部	1カ所 エッジ部

6.3.4 回収試験材の詳細調査

今年度は9年5ヵ月経過した耐海水鋼と普通鋼の裸材2本と塗装材3本の計5本を回収し、腐食量測定および塗膜調査を行った。

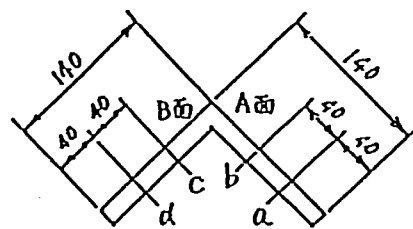
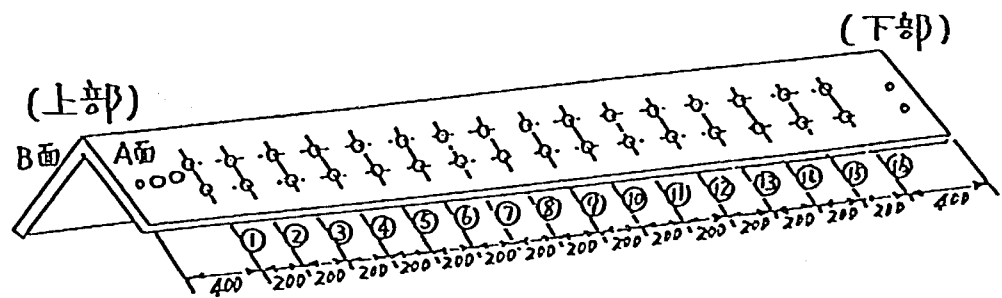
(1) 板厚測定

9年5ヵ月経過後の耐海水鋼(B-1-3)と普通鋼(B-4-3)の裸材は、除錆処理後マイクロメータで板厚減少量を測定した。測定箇所は図-6・6に示す64点(16レベル×4箇所)で、測定点を3回測定してその平均値を求めた。その結果を試験前測定値と合せて示した。同一レベル4点の各板厚減少量を平均してそのレベルの板厚減少量として平均侵食度を算出し表-6・36、6・37に示した。レベルと平均侵食度の関係を図-6・7に示した。2年5ヵ月、5年5ヵ月経過後の結果も図-6・8～6・9に示した。

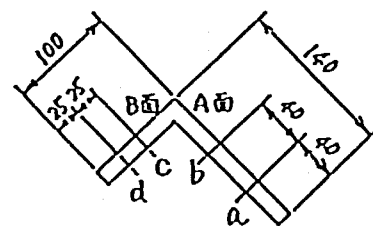
さらに耐海水鋼のみの2年5ヵ月、5年5ヵ月、9年5ヵ月経過後の侵食度の経時変化を図6-10に、普通鋼のみの同様の経時変化を図-6・11に示した。

鋼種別、暴露部位別、あるいは経年的に比較した腐食傾向は、次のとおりである。

- 1) 9年5ヵ月経過後の各レベルでの腐食傾向は、飛沫帯から海中部にかけてほぼ全域で耐海水鋼が普通鋼より腐食速度が小さかった。
- 2) 両鋼種とも最も腐食が激しかったのは飛沫帯であった。耐海水鋼で0.16mm/y、普通鋼で0.23mm/yを示した。
- 3) 最も腐食が小さいのは、HWL直下で耐海水鋼と普通鋼は共に0.01mm/yを示した。
- 4) 侵食度の総平均は、耐海水鋼が0.077mm/y、普通鋼は0.117mm/yであり、耐海水鋼は普通鋼の約67%であった。ゾーン別での耐海水鋼は普通鋼に対して、飛沫帯で72%、干満帯で50%、海中部で78%の耐食性を示した。
- 5) 耐海水鋼、普通鋼とも経年的に侵食度は低下する傾向を示した。



140 x 140 型



140 x 100 型

図-6.6 試験材の板厚測定箇所

(研究テーマ2)

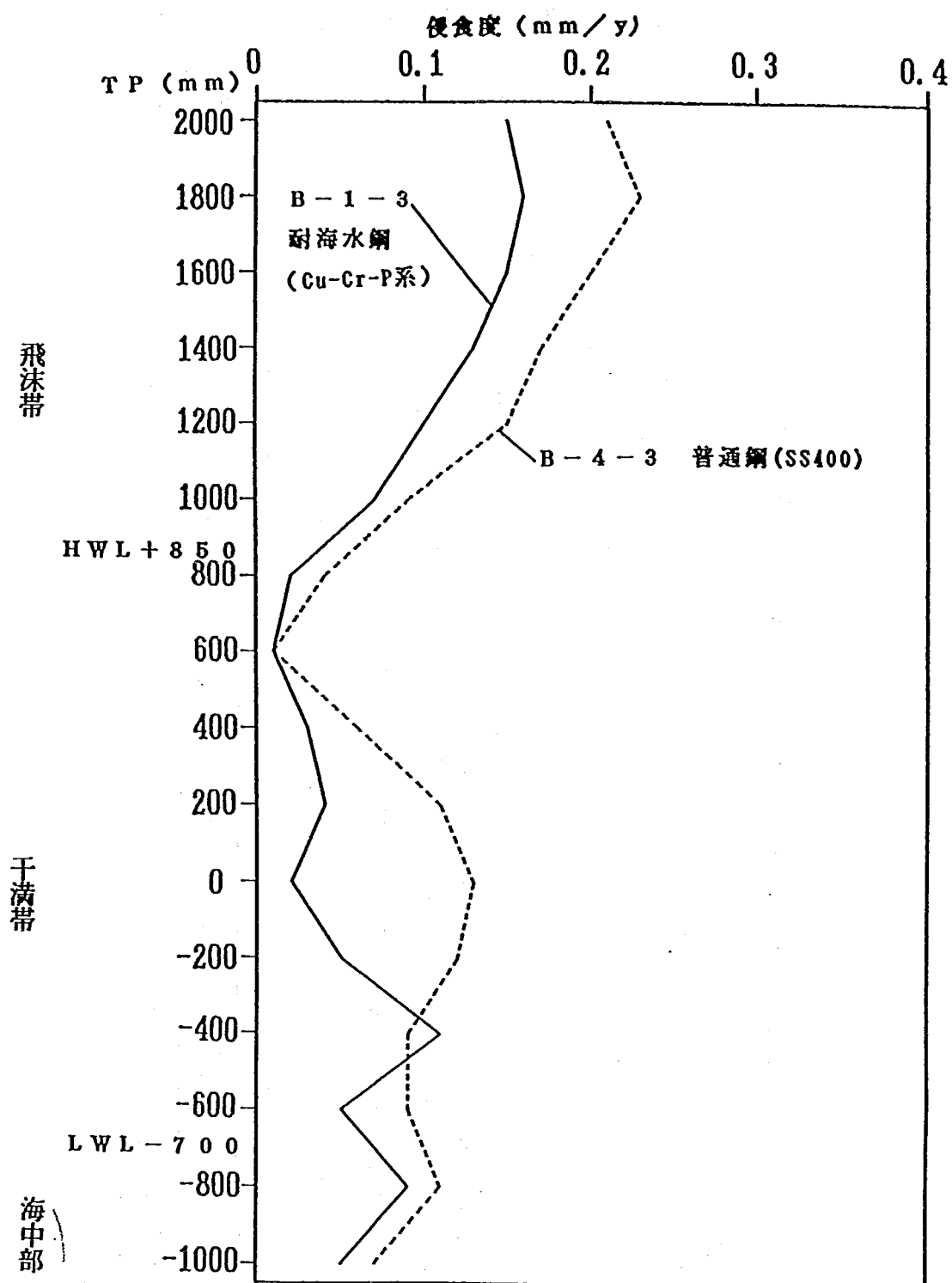
表-6-36 耐海水鋼 (B-1-3) の肉厚減少量と平均侵食度 (9年5ヵ月後)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
試験前	a	17.91	17.93	18.02	17.92	17.88	18.00	17.94	17.89	17.98	17.99	17.99	17.99	17.92	17.92	17.94	17.98
	b	17.91	17.89	17.90	17.87	17.81	17.88	17.88	17.89	17.92	17.93	17.93	17.95	17.91	17.90	17.91	17.91
	c	17.88	17.86	17.82	17.84	17.82	17.84	17.94	17.89	17.92	17.92	15.90	17.95	18.00	17.96	17.96	17.92
	d	17.85	17.87	17.85	17.89	17.84	17.97	17.86	17.85	17.87	17.89	17.91	17.96	17.85	17.90	17.95	17.90
試験後	a	13.98	15.71	15.59	14.38	16.43	16.78	17.72	17.86	17.65	17.37	17.33	16.58	17.48	16.91	16.84	17.28
	b	15.30	14.76	15.11	16.01	16.22	16.73	17.57	17.72	17.32	17.24	16.69	16.94	17.10	17.07	16.70	16.79
	c	15.55	13.40	15.82	15.73	14.81	16.11	17.40	17.71	17.45	17.18	16.46	17.17	16.39	16.71	14.89	16.71
	d	15.61	15.51	14.02	15.28	16.36	16.66	17.35	17.74	17.04	17.18	17.40	17.12	12.69	17.05	16.41	17.26
肉厚減 (mm)		2.78	3.04	2.76	2.53	1.88	1.35	0.40	0.12	0.56	0.69	0.46	1.01	2.00	0.99	1.73	0.92
平均侵食度 (mm/y)		0.15	0.16	0.15	0.13	0.10	0.07	0.02	0.01	0.03	0.04	0.02	0.05	0.11	0.05	0.09	0.05

(研究テーマ2)

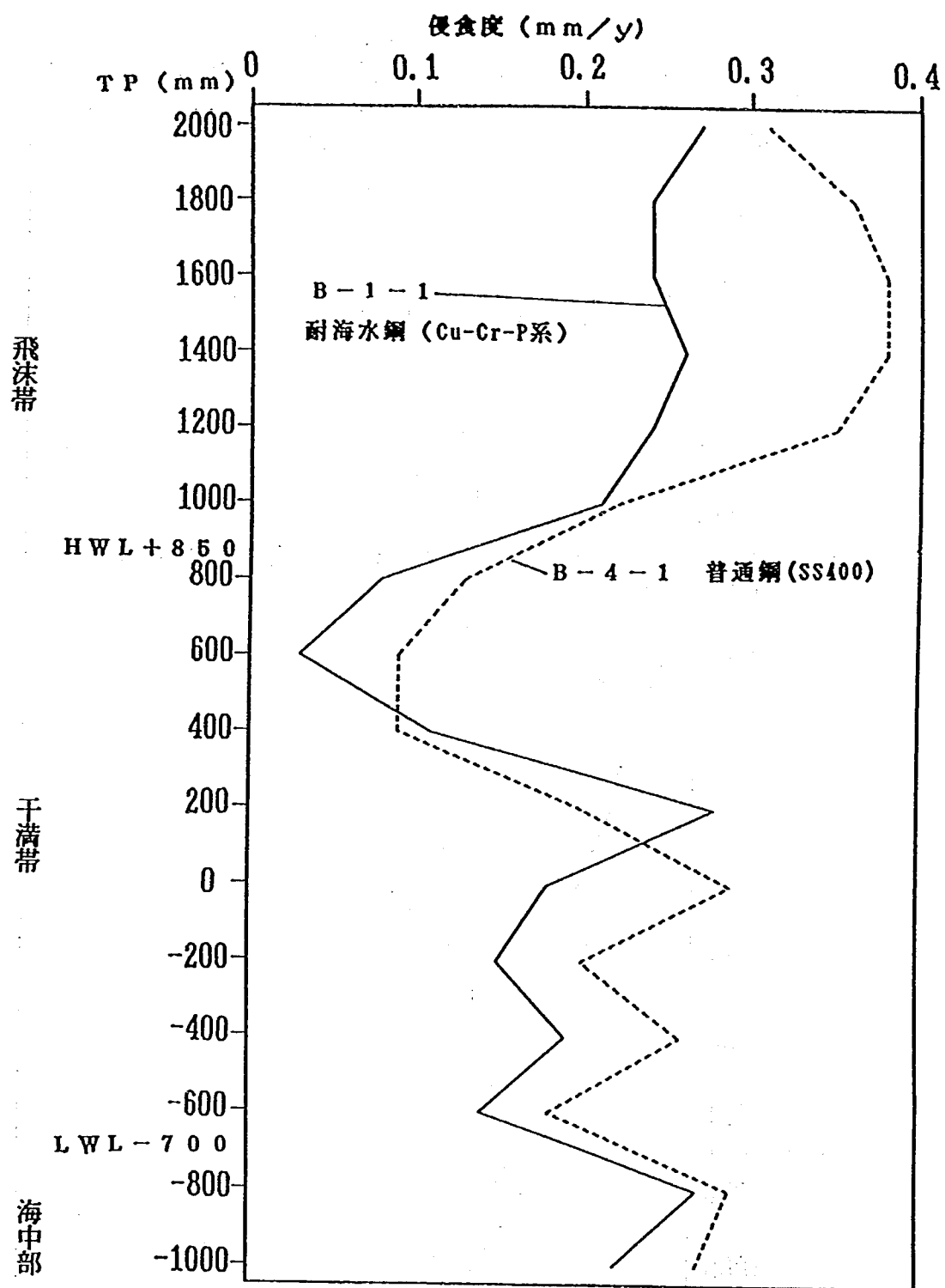
表-6-37 普通鋼 (B-4-3) の肉厚減少量と平均侵食度 (9年5ヵ月)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
試験前	a	19.63	19.65	19.73	19.72	19.76	19.54	19.53	19.45	19.55	19.51	19.48	19.55	19.56	19.52	19.61	19.56
	b	19.60	19.60	19.69	19.66	19.76	19.51	19.50	19.44	19.44	19.47	19.46	19.59	19.57	19.54	19.56	19.51
	c	19.53	19.62	19.63	19.65	19.69	19.41	19.44	19.36	19.41	19.40	19.41	19.40	19.49	19.45	19.50	19.43
	d	19.59	19.61	19.70	19.71	19.73	19.41	19.44	19.41	19.39	19.40	19.38	19.44	19.50	19.46	19.51	19.47
試験後	a	14.77	15.31	15.37	16.37	16.43	17.54	18.75	18.81	18.75	16.46	16.56	17.34	18.02	18.45	17.47	18.55
	b	16.45	14.88	16.39	16.87	17.13	18.00	18.73	19.07	18.19	17.21	17.08	18.67	17.17	17.67	16.95	18.25
	c	15.87	15.57	15.41	16.95	17.38	17.92	18.85	18.89	18.31	17.82	17.20	16.20	17.88	16.25	17.36	18.33
	d	15.22	15.40	16.52	15.99	16.53	17.95	18.80	19.96	18.21	17.75	17.22	16.50	18.17	18.67	18.17	17.87
肉厚減 (mm)		4.01	4.33	3.77	3.14	2.87	1.61	0.70	0.23	1.08	2.14	2.42	2.32	1.72	1.73	2.06	1.24
平均侵食度 (mm/year)		0.21	0.23	0.20	0.17	0.15	0.09	0.04	0.01	0.06	0.11	0.13	0.12	0.09	0.09	0.11	0.07



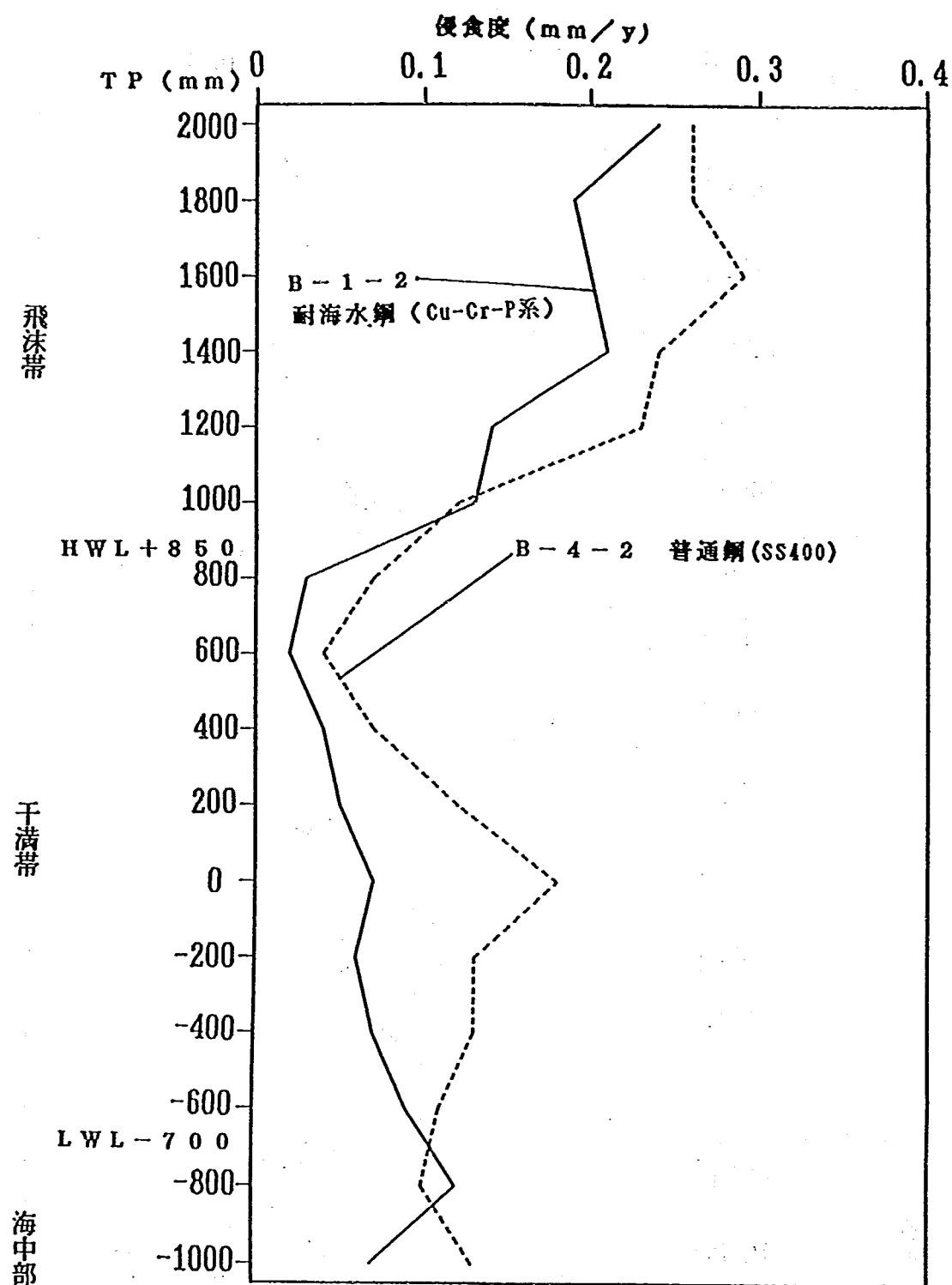
回収 1993年

図-6.7 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (9年5ヵ月)



回収 1986年

図-6・8 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (2年5ヵ月)



回収 1989年

図-6.9 耐海水鋼および普通鋼の侵食度 (5年5ヵ月)

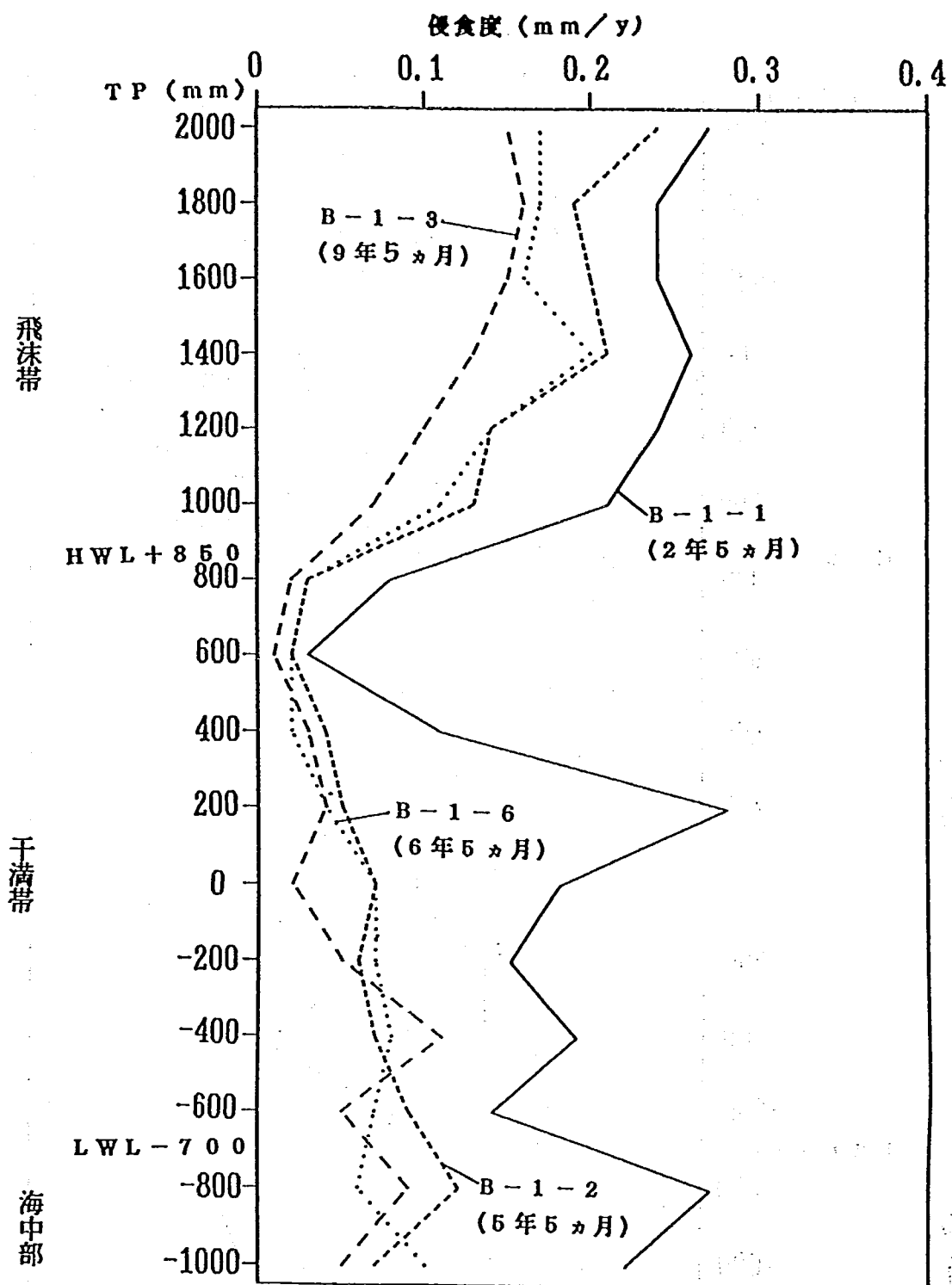


図-6.10 耐海水鋼の侵食度の経時変化

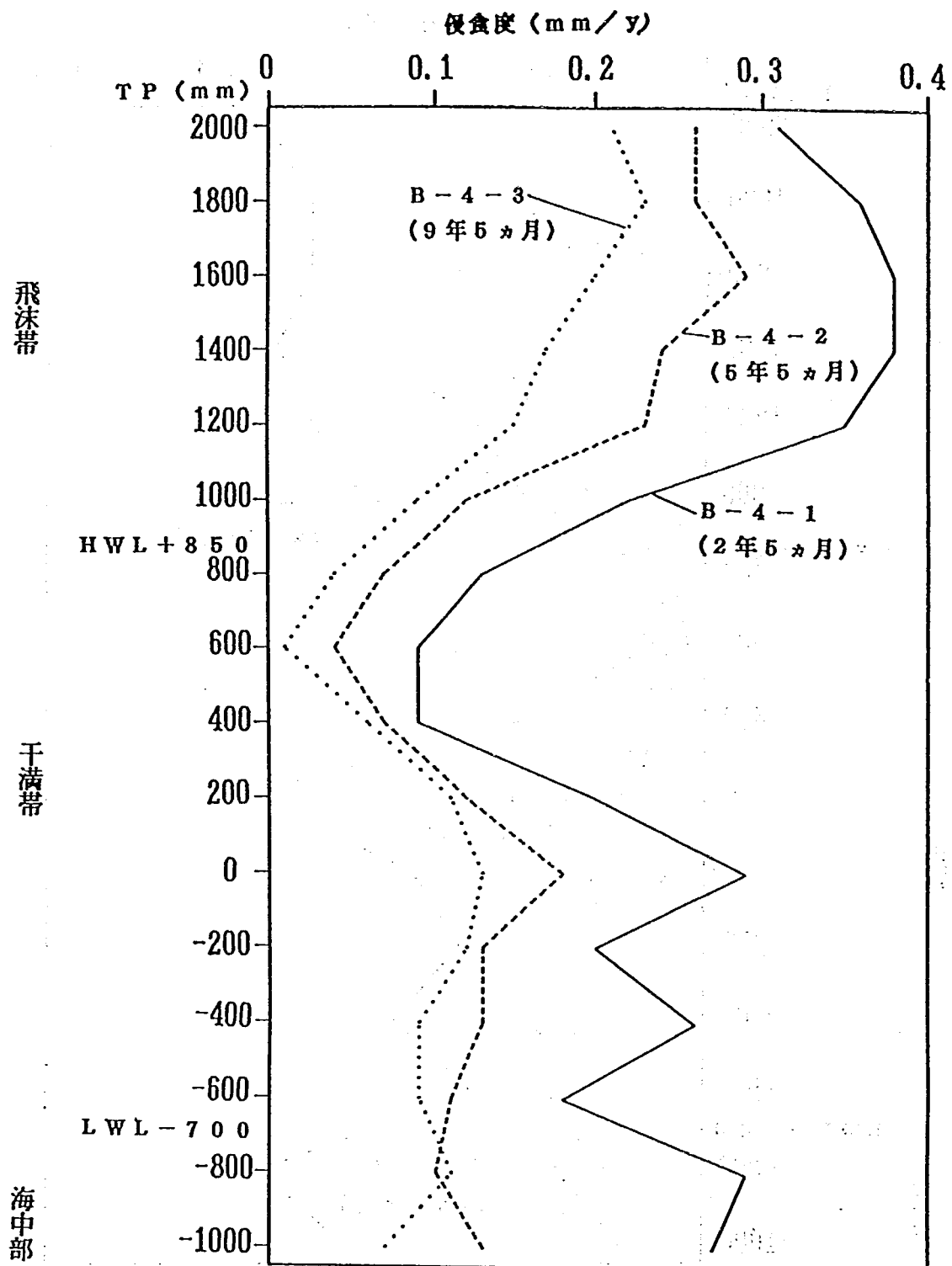


図-6.11 普通鋼の侵食度の経時変化

(2) 外観観察

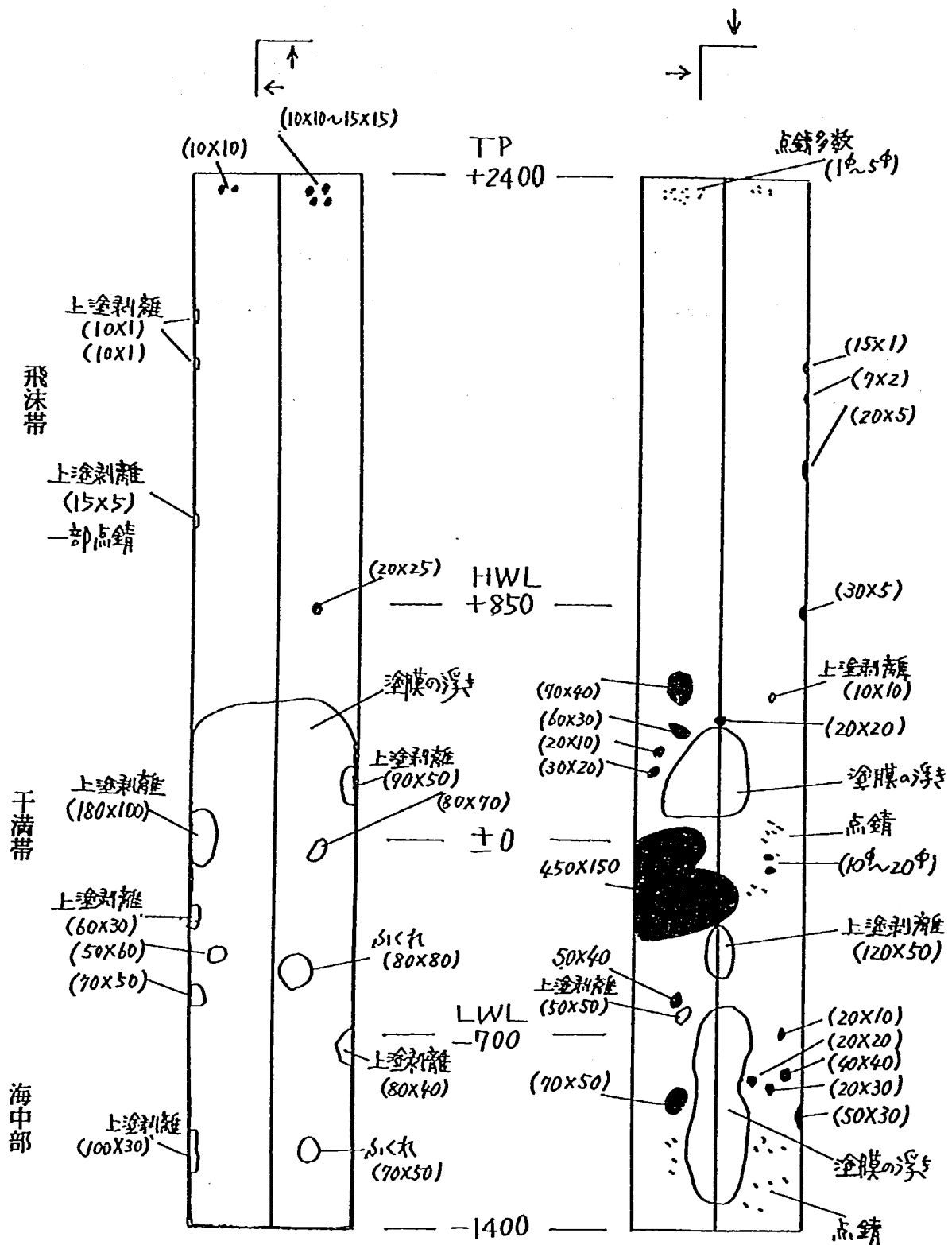
回収した塗装試験材は、耐海水鋼 (B-2-2, B-3-2) 2 本、普通鋼 (B-5-2) 1 本で、付着した生物を除去して外観観察を行った。その記録を図-6・12～6・14に示した。

飛沫帯では、上端部付近で赤錆が発生していたが、その他には異状はなかった。干満帯から海中部にかけて広い範囲でタールエポキシ塗膜のうき、ふくれ、剥離が認められ、剥離部分で無機ジンクリッチペイントが消耗した部分では赤錆となっていた。

(3) 膜厚

膜厚は試験開始前に測定した図-6・15と同じ位置で、1 カ所につき 3 回繰返した。各測定レベルでの平均を計算し表-6・38～40に測定結果をまとめた。干満帯から海中部にかけて測定点に塗膜の異状があった場合は結果に含めなかった。

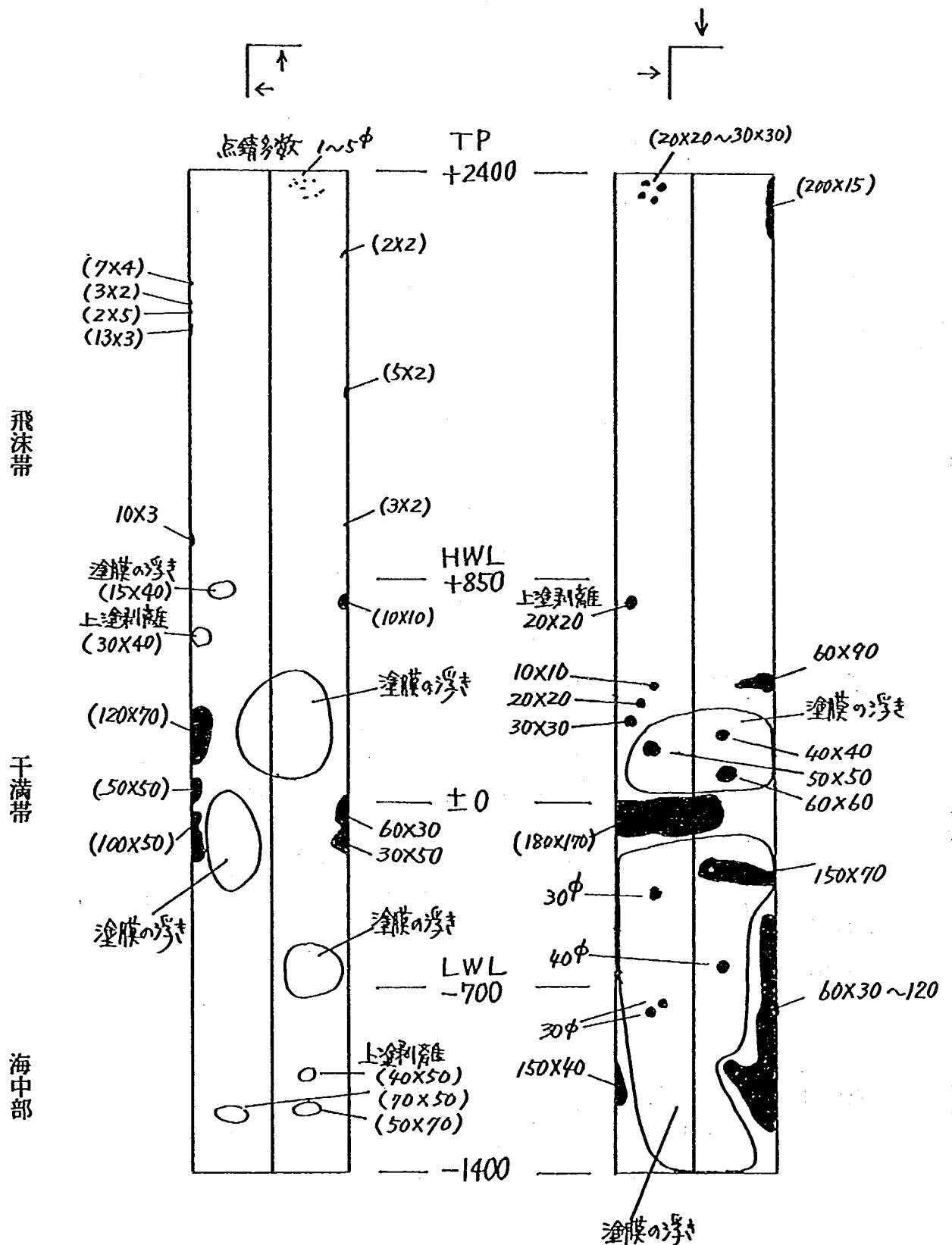
その結果、残存している塗膜の測定値からは、大きな変化は認められなかった。



9年5ヵ月経過

赤錆

図-6.12 回収した塗装試験材 (B-2-2) の外観観察

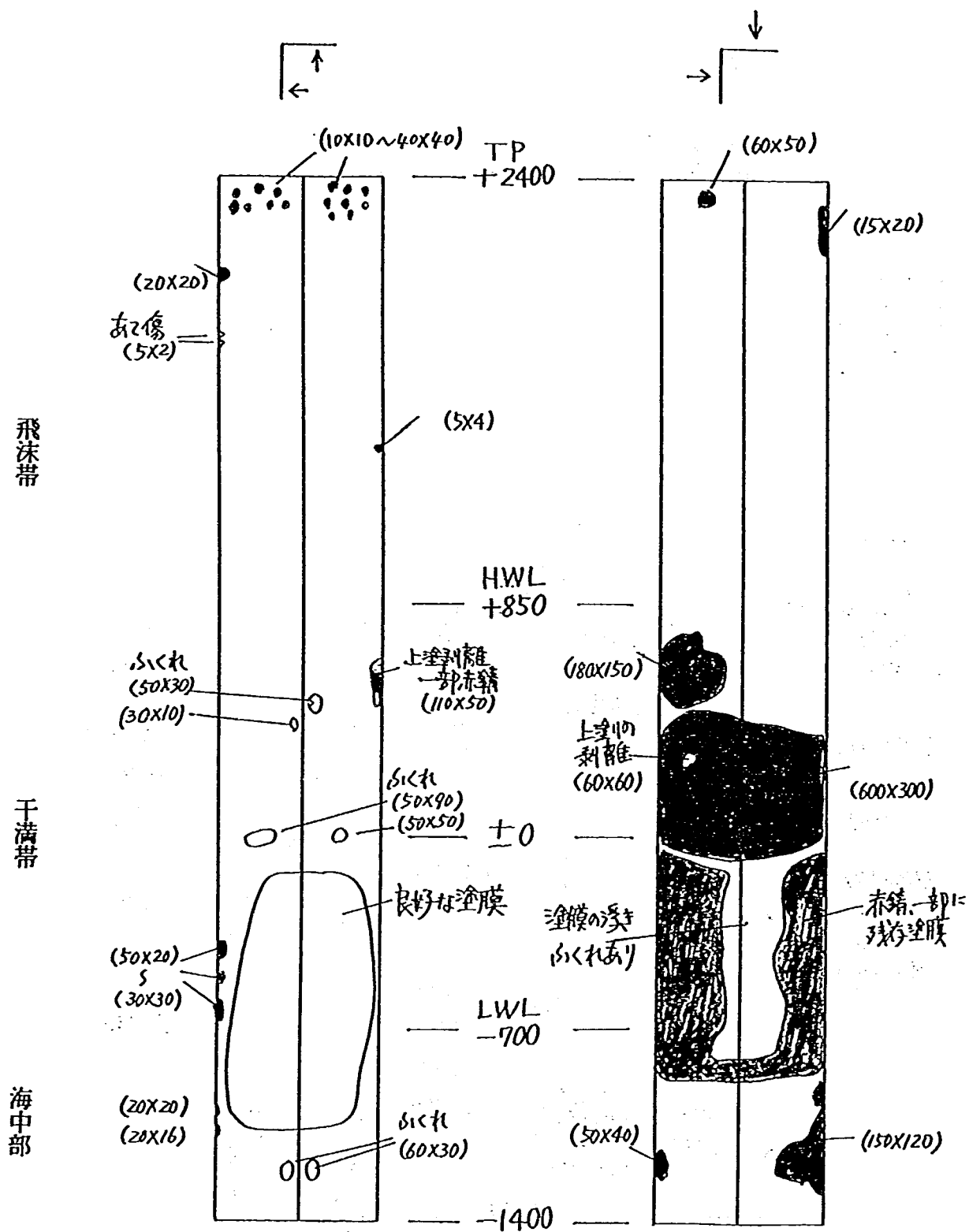


9年5ヵ月経過

赤錆

図-6・13 回収した塗装試験材 (B-3-2) の外観観察

普通網 (SS400) 無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + 珪酸珪素 (300 μ m $\times$ 2回)



9年5ヵ月経過

赤錆

図-6.14 回収した塗装試験材 (B-5-2) の観察記録

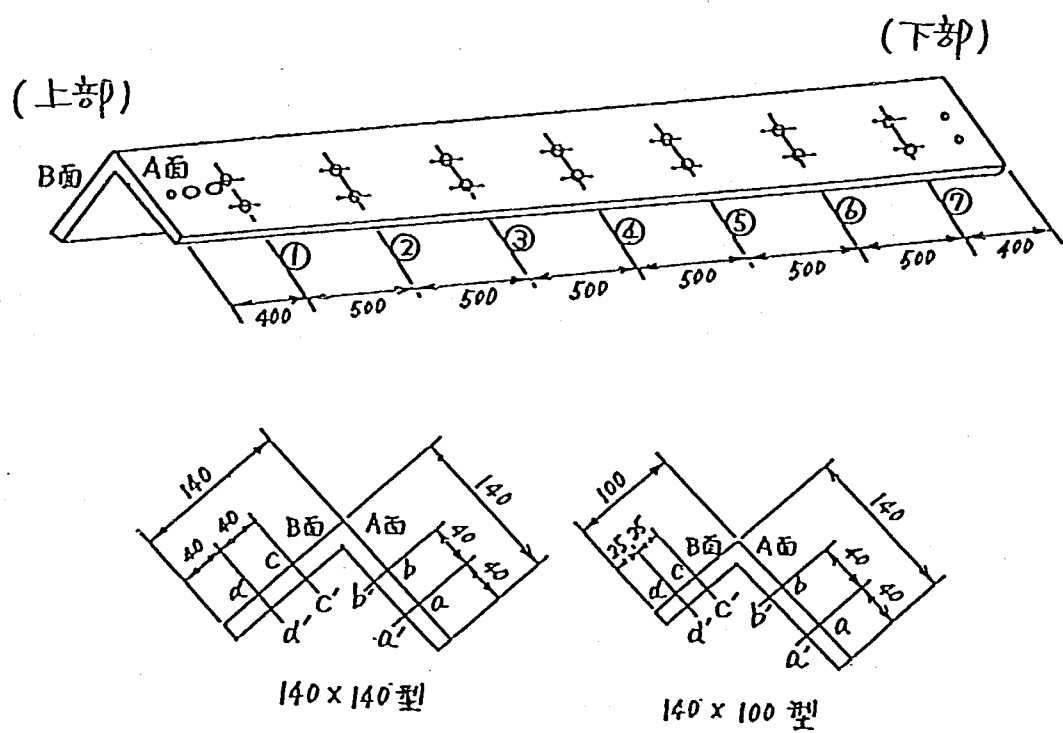


圖-6·15 塗膜測定位置

表-6・38 耐海水鋼塗装材（B-2-2）の膜厚測定結果

（初期値）

（研究テーマ2）

（単位：μm）

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	550	580	590	720	540	470	590
b	570	660	550	630	560	470	710
c	560	560	460	520	470	570	570
d	670	580	540	590	550	630	670
a'	770	750	850	790	660	550	810
b'	810	770	890	770	710	700	830
c'	710	810	690	660	710	780	730
d'	770	770	730	730	790	810	750
平均	676	685	663	676	624	623	708

総平均

665

（9年5ヵ月後）

（単位：μm）

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	510	543	520	650	0	417	370
b	543	593	467	580	0	420	710
c	467	470	423	443	420	533	537
d	493	510	430	503	497	560	630
a'	707	687	763	813	707	707	850
b'	727	693	740	783	740	700	807
c'	700	777	647	717	777	750	753
d'	877	777	717	757	790	850	800
平均	628	631	588	656	655	617	682

総平均

637

表-6・39 耐海水鋼塗装材 (B-3-2) の膜厚測定結果

(初期値)

(研究テーマ2)

(単位: μm)

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	730	570	660	630	720	660	660
b	610	580	620	650	750	680	720
c	690	610	730	730	670	720	650
d	660	550	660	660	590	580	630
a'	690	770	700	670	800	730	890
b'	790	890	850	770	850	750	900
c'	750	770	730	850	720	750	800
d'	810	810	810	850	790	730	720
平均	716	694	720	726	736	700	746

総平均

720

(9年5ヵ月後)

(単位: μm)

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	670	600	600	790	650	643	670
b	600	583	677	823	753	687	780
c	693	633	797	0	827	0	690
d	633	530	620	0	0	0	0
a'	560	597	640	767	707	610	780
b'	630	680	697	750	703	603	803
c'	600	643	660	527	0	600	700
d'	647	663	687	733	0	613	647
平均	629	616	672	732	728	626	724

総平均

675

表-6・40 普通鋼塗装材（B-5-2）の膜厚測定結果

（初期値）

（研究テーマ2）

（単位：μm）

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	610	670	750	740	680	670	570
b	580	650	750	720	800	820	620
c	595	660	700	650	820	680	620
d	670	680	690	670	780	700	580
a'	830	690	710	680	710	710	610
b'	950	820	840	810	850	830	760
c'	830	790	850	770	790	730	650
d'	830	750	750	670	750	650	570
平均	737	714	755	714	773	724	623

総平均

720

（9年5ヵ月後）

（単位：μm）

位置	1	2	3	4	5	6	7
a	540	567	657	647	0	603	680
b	620	593	723	613	0	683	567
c	523	633	790	657	0	663	667
d	587	597	707	617	0	673	587
a'	870	647	560	650	700	730	600
b'	860	753	760	793	863	853	713
c'	793	637	747	763	783	720	653
d'	773	650	663	650	757	620	547
平均	696	635	701	674	824	693	627

総平均

693

(4) 交流抵抗

交流抵抗の測定は、飛沫帯、干満帯、海中部の3ゾーンで外観から異状のない箇所を3種類の周波数で測定した。その結果を表-6・41~6・43に示した。この中でB-3-2の南側とB-5-2の北側の海中部は、測定用のアルミ箔を貼り付けることができる広さの健全塗膜部を確保できなかったのもので省略した。さらに5年5ヵ月経過後との比較を表-6・44に示した。

その結果、9年5ヵ月経過後の周波数1 KHzの測定では、大部分で $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ のオーダーであったが、1ヵ所B-3-2の海中部南側は $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ のオーダーを示した。ゾーン別では、飛沫帯が最も交流抵抗が高く、その次に干満帯であり、海中部はもっとも低い値を示した。

海中部は測定結果および健全塗膜部を確保できなかったこと等を考慮すれば、塗膜状態は飛沫帯等と較べて悪いと考えられる。

5年5ヵ月経過後の測定値との比較では、健全な塗膜部に関しては大きな変化は生じていなかった。

(5) ピンホール

ピンホール測定も外観上異状のない箇所を対象とした。ピンホール発生箇所を図-6・16~6・18に示した。5年5ヵ月後の測定結果を図-6・19~6・21に示した。

その結果いずれの試験材でも上端部付近にピンホールが集中した箇所があった。飛沫帯ではエッジ部に比べ一般部にはほとんど認められなかった。干満帯や海中部は飛沫帯よりも多数のピンホールが検出された。これらは、生物付着による影響ではないかと考えられる。また、9年5ヵ月経過後は5年5ヵ月経過後よりもピンホールの数が増加していた。

(6) 付着力

付着力測定結果を参考の平均値も含めて表-6・45に示した。いずれの測定も外観に異状がない箇所を選んで行った。また5年5ヵ月経過後の結果を表-6・46に示した。

20kgf/cm²未満の付着力は飛沫帯にはなく、干満帯と海中部に各6ヵ所測定された。各ゾーンの付着力の平均では、干満帯が最も低い値でその次に低いのは海中部であった。

剥離形態では、飛沫帯はタールエポキシ塗膜の凝集破壊が多いが、干満帯や海中部では凝集破壊の他に無機ジンクリッチとタールエポキシの層間剥離が生じた。この層間剥離の割合が大きい箇所は赤錆やジンクリッチの腐食生成物が存在し付着力も低下していた。

(研究テーマ2)

表-6-41 耐海水鋼塗装材 (B-2-2) の交流抵抗測定結果(1)

	0.2KHz				0.5KHz				1 KHz			
	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)
飛沫帯 南	1.724×10^{-10}	0.047	9.83×10^7	2.46×10^9	1.678×10^{-10}	0.043	4.41×10^7	1.10×10^9	1.650×10^{-10}	0.041	2.35×10^7	5.88×10^8
	1.970×10^{-10}	0.044	9.19×10^7	2.30×10^9	1.930×10^{-10}	0.041	4.02×10^7	1.01×10^9	1.890×10^{-10}	0.035	2.41×10^7	6.02×10^8
干満帯 南	1.950×10^{-10}	0.079	5.17×10^7	1.29×10^9	1.860×10^{-10}	0.074	2.31×10^7	5.78×10^8	1.812×10^{-10}	0.076	1.16×10^7	2.89×10^8
	2.430×10^{-10}	0.059	5.55×10^7	1.39×10^9	2.340×10^{-10}	0.056	2.43×10^7	6.08×10^8	2.280×10^{-10}	0.053	1.32×10^7	3.29×10^8
海中部 南	6.770×10^{-10}	0.498	2.36×10^8	5.90×10^7	5.660×10^{-10}	0.383	1.47×10^8	3.67×10^7	5.040×10^{-10}	0.322	9.81×10^8	2.45×10^7
	2.740×10^{-10}	0.099	2.94×10^7	7.34×10^8	2.620×10^{-10}	0.078	1.56×10^7	3.90	2.540×10^{-10}	0.070	8.96×10^8	2.24×10^8

(研究テーマ2)

表-6-42 耐海水鋼塗装材 (B-3-2) の交流抵抗測定結果(2)

	0.2KHz				0.5KHz				1 KHz			
	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	t a n d	R (Ω)	R (Ω・cm ²)
飛沫帯 南	1.641×10^{-10}	0.047	1.03×10^8	2.58×10^9	1.598×10^{-10}	0.043	4.63×10^7	1.16×10^9	1.571×10^{-10}	0.041	2.47×10^7	6.18×10^8
	1.810×10^{-10}	0.049	8.98×10^7	2.24×10^9	1.769×10^{-10}	0.048	3.75×10^7	9.38×10^8	1.736×10^{-10}	0.046	1.99×10^7	4.99×10^8
干満帯 南	1.665×10^{-10}	0.07	6.83×10^7	1.71×10^9	1.596×10^{-10}	0.065	3.07×10^7	7.67×10^8	1.553×10^{-10}	0.062	1.65×10^7	4.13×10^8
	2.190×10^{-10}	0.06	6.06×10^7	1.51×10^9	2.120×10^{-10}	0.059	2.55×10^7	6.37×10^8	2.060×10^{-10}	0.059	1.31×10^7	3.28×10^8
海中部 南	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2.050×10^{-10}	0.094	4.13×10^7	1.03×10^9	1.970×10^{-10}	0.076	2.13×10^7	5.32×10^8	1.910×10^{-10}	0.068	1.23×10^7	3.07×10^8

(研究テーマ2)

表-6-43 普通鋼塗装材 (B-5-2) の交流抵抗測定結果(3)

	0.2KHz				0.5KHz				1 KHz			
	C (F)	tan δ	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	tan δ	R (Ω)	R (Ω・cm ²)	C (F)	tan δ	R (Ω)	R (Ω・cm ²)
飛沫帯 南 北	1.659×10 ⁻¹⁰	0.045	1.07×10 ⁸	2.67×10 ⁹	1.605×10 ⁻¹⁰	0.041	4.84×10 ⁷	1.21×10 ⁹	1.579×10 ⁻¹⁰	0.039	2.59×10 ⁷	6.46×10 ⁸
	1.679×10 ⁻¹⁰	0.056	8.47×10 ⁷	2.12×10 ⁹	1.627×10 ⁻¹⁰	0.053	3.69×10 ⁷	9.23×10 ⁸	1.591×10 ⁻¹⁰	0.051	1.96×10 ⁷	4.91×10 ⁸
干潟帯 南 北	2.300×10 ⁻¹⁰	0.071	4.88×10 ⁷	1.22×10 ⁹	2.210×10 ⁻¹⁰	0.067	2.15×10 ⁷	5.38×10 ⁸	2.150×10 ⁻¹⁰	0.062	1.19×10 ⁷	2.99×10 ⁸
	1.873×10 ⁻¹⁰	0.059	7.20×10 ⁷	1.80×10 ⁹	1.812×10 ⁻¹⁰	0.057	3.08×10 ⁷	7.71×10 ⁸	1.769×10 ⁻¹⁰	0.054	1.67×10 ⁷	4.17×10 ⁸
海中部 南 北	2.120×10 ⁻¹⁰	0.082	4.58×10 ⁷	1.14×10 ⁹	2.030×10 ⁻¹⁰	0.069	2.27×10 ⁷	5.68×10 ⁸	1.970×10 ⁻¹⁰	0.064	1.26×10 ⁷	3.16×10 ⁸
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(研究テーマ2)

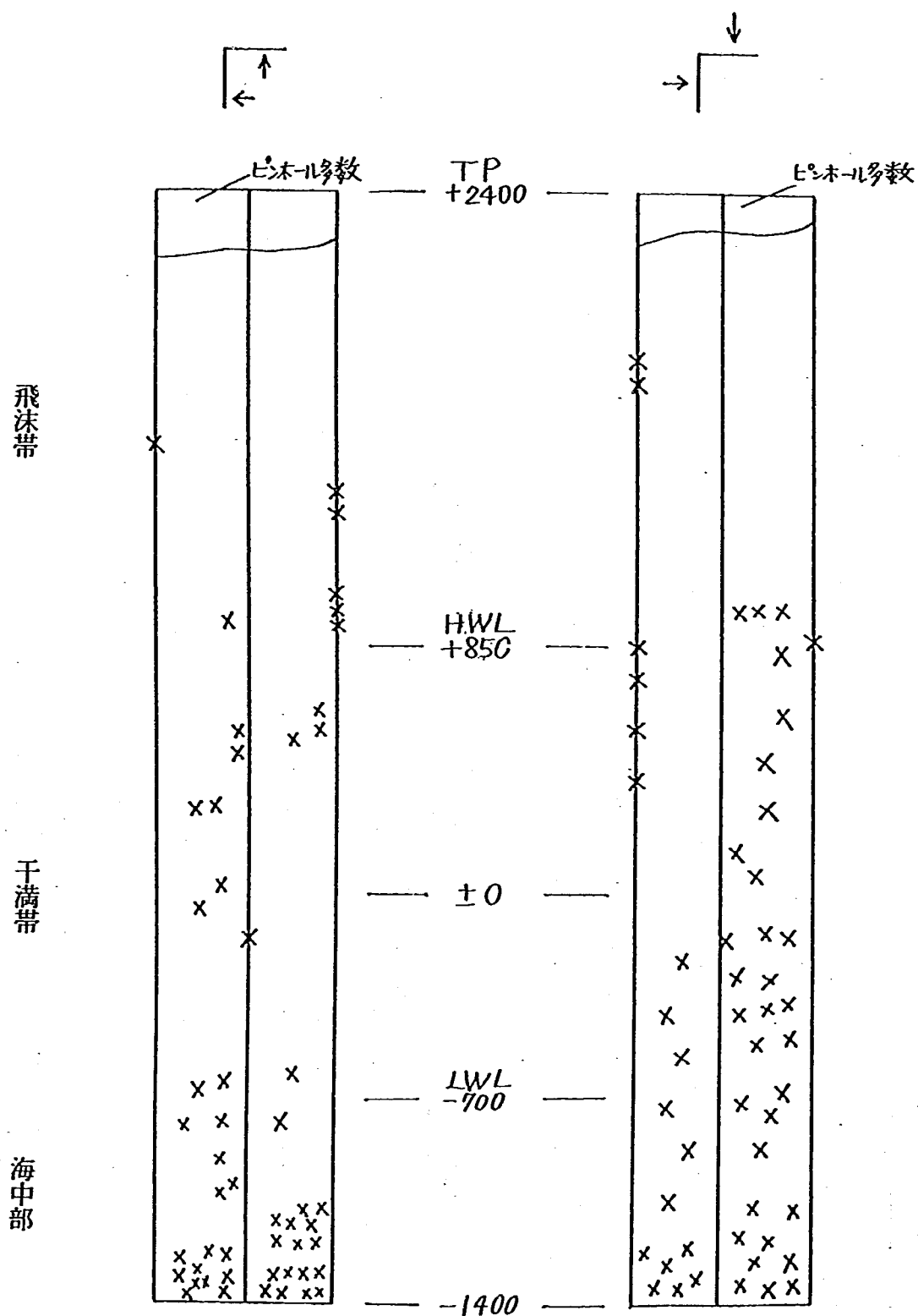
表-6-44 回収塗装材の交流抵抗測定結果の比較

(単位 Ω・cm²)

		耐海水鋼 (B-2-2)		耐海水鋼 (B-3-3)		普通鋼 (B-5-2)	
		南側	北側	南側	北側	南側	北側
5年5ヵ月	飛沫帯	1.05×10 ⁸	1.52×10 ⁸	3.85×10 ⁸	1.48×10 ⁸	9.30×10 ⁷	8.58×10 ⁷
	干潟帯	1.17×10 ⁸	4.98×10 ⁸	3.53×10 ⁸	1.53×10 ⁸	9.85×10 ⁷	1.82×10 ⁸
	海中部	1.22×10 ⁸	3.18×10 ⁷	2.22×10 ⁸	1.07×10 ⁸	2.68×10 ⁸	1.36×10 ⁸
9年5ヵ月	飛沫帯	5.88×10 ⁸	6.02×10 ⁸	2.89×10 ⁸	3.29×10 ⁸	2.45×10 ⁷	2.24×10 ⁸
	干潟帯	6.18×10 ⁸	4.99×10 ⁸	4.13×10 ⁸	3.28×10 ⁸		3.07×10 ⁸
	海中部	6.46×10 ⁸	4.91×10 ⁸	2.99×10 ⁸	4.17×10 ⁸	3.16×10 ⁸	

測定周波数: 1 KHz

Cu-Cr-P系耐海水鋼 無機珪酸 (15 μ m $\times$ 1回) + 珪酸珪素 (300 μ m $\times$ 2回)



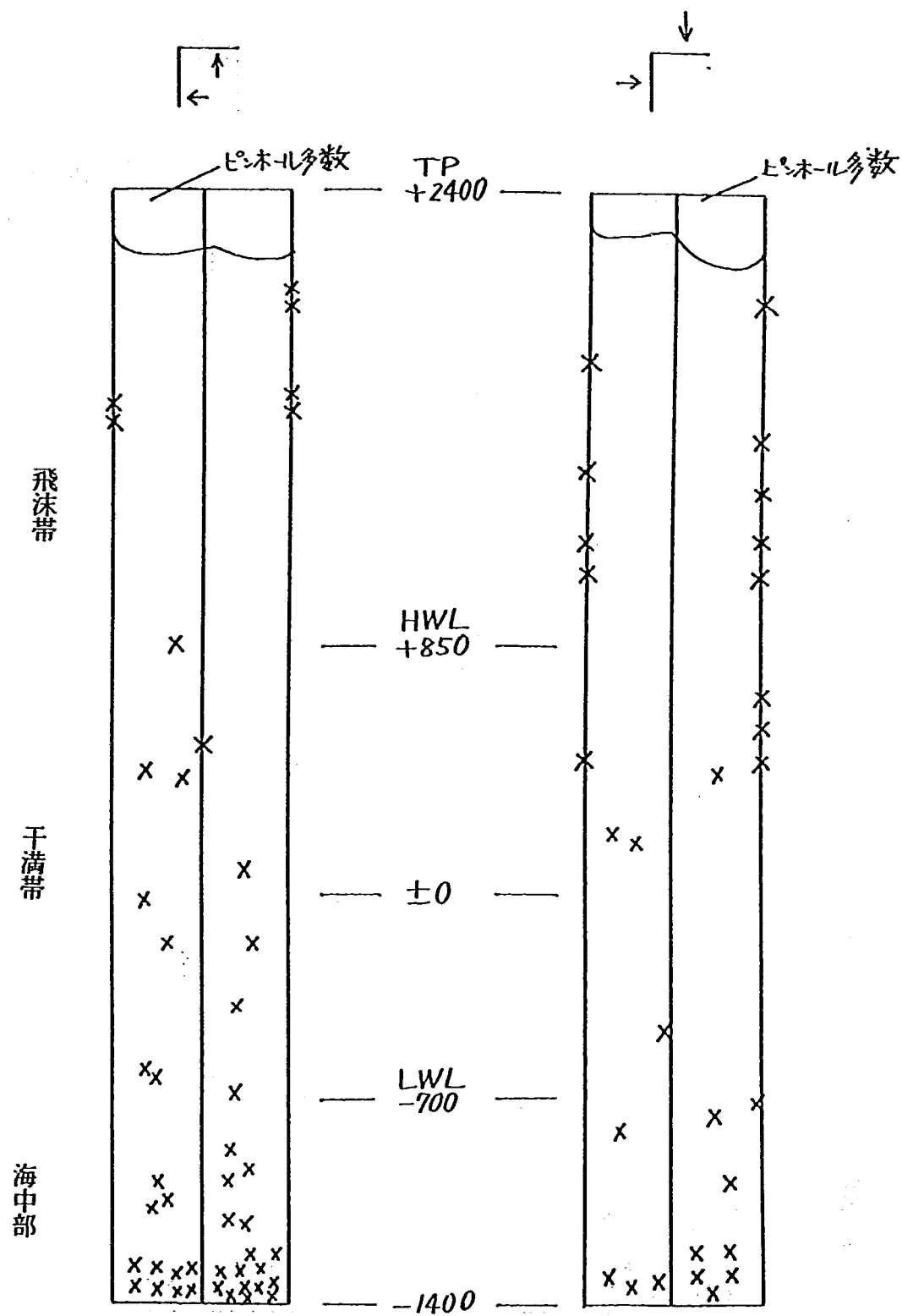
耐海水鋼 B-2-2

9年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6・16 回収塗装材のピンホール測定結果 (1)

L.C.-Cu-P系耐海水鋼 無機シリケート (75 μ m $\times$ 1回) + 有機シリケート (300 μ m $\times$ 2回)



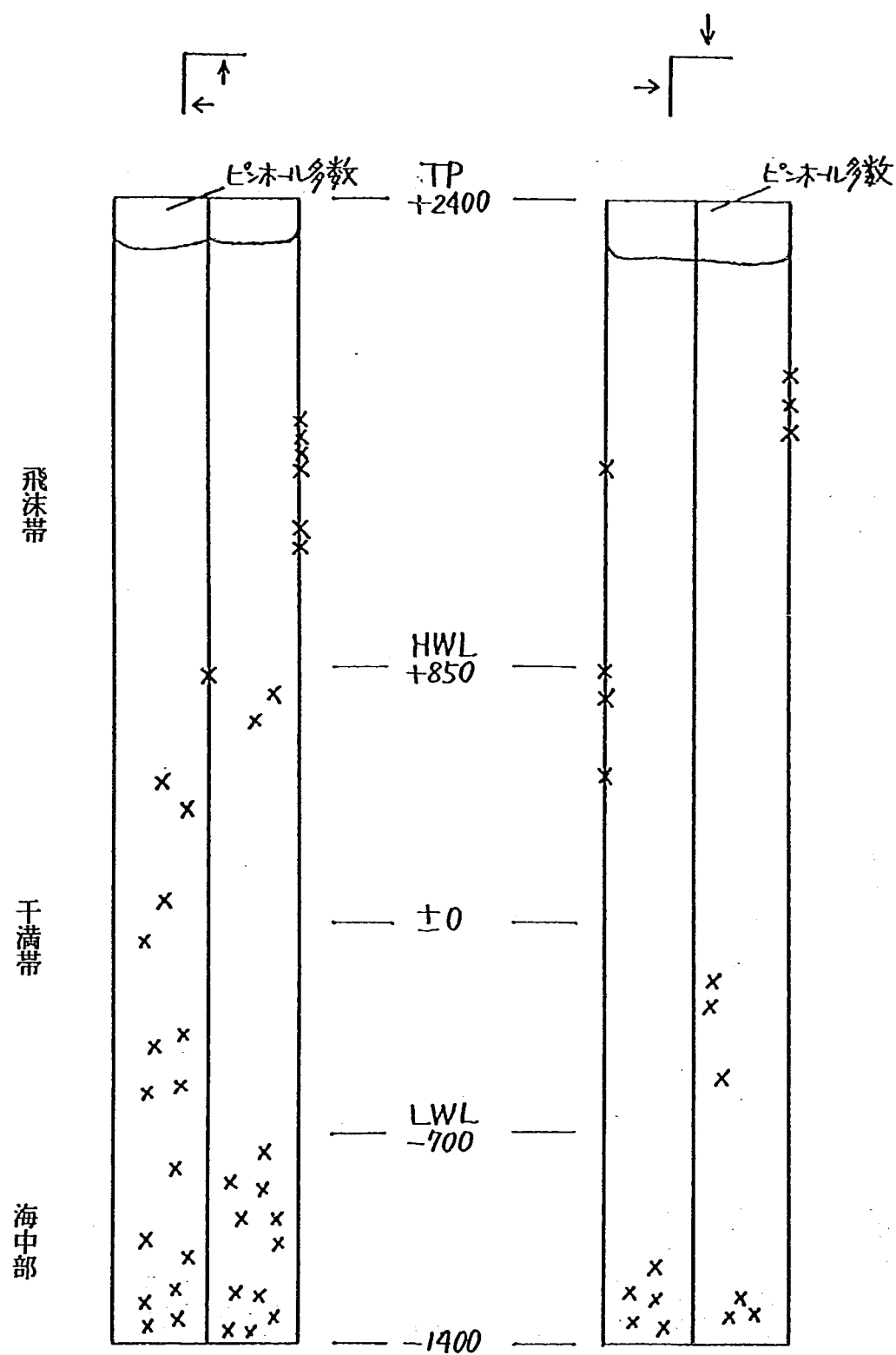
耐海水鋼 B-3 -2

9年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6.17 回収塗装材のピンホール測定結果 (2)

普通鋼 (S S 400) 無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + 珪酸珪酸 (300 μ m $\times$ 2回)



普通鋼 B-5 -2

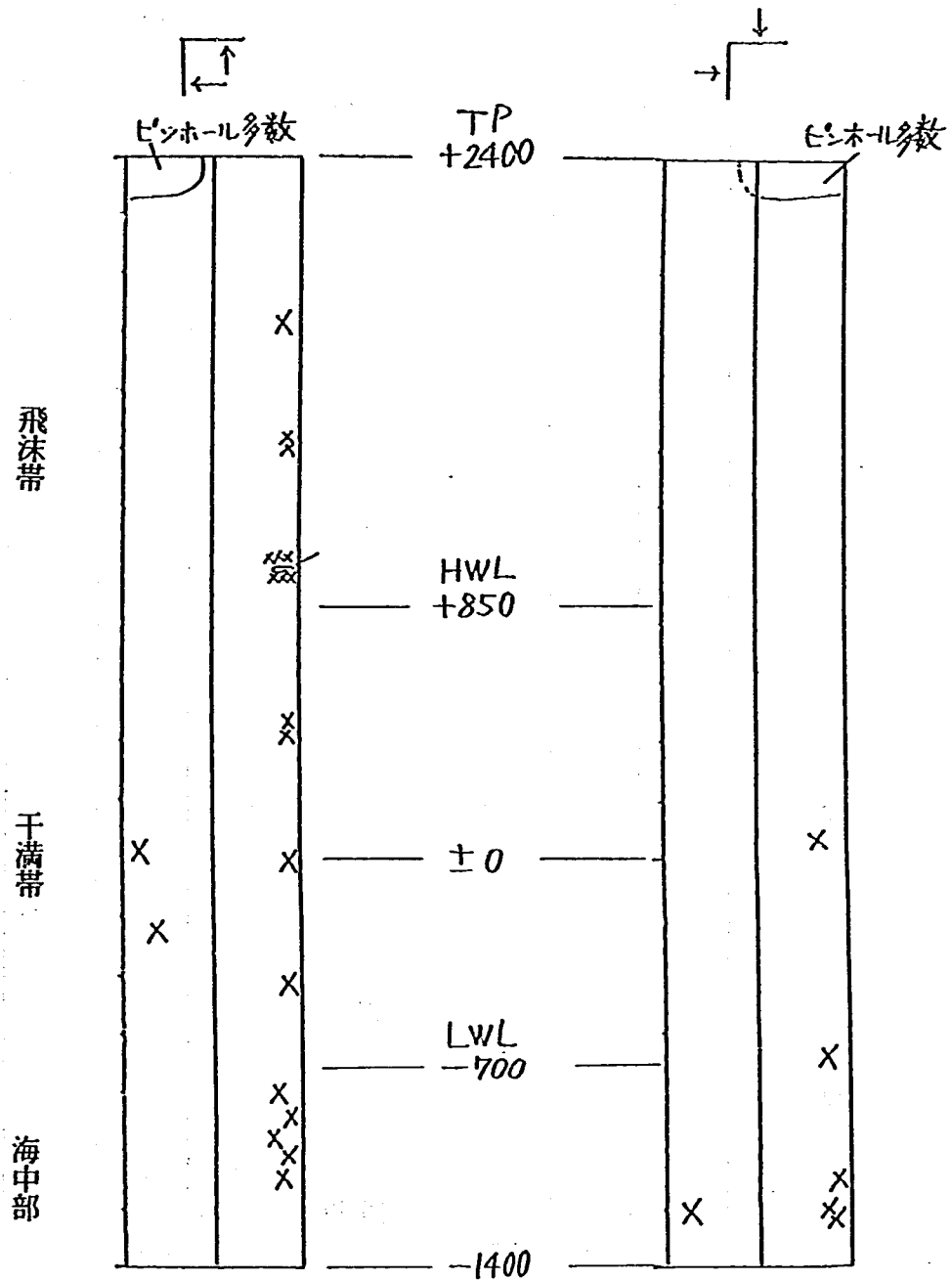
9年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6・18 回収塗装材のピンホール測定結果 (3)

Cu-Cr-P系耐海水鋼

無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + 珪酸珪素 (300 μ m $\times$ 2回)



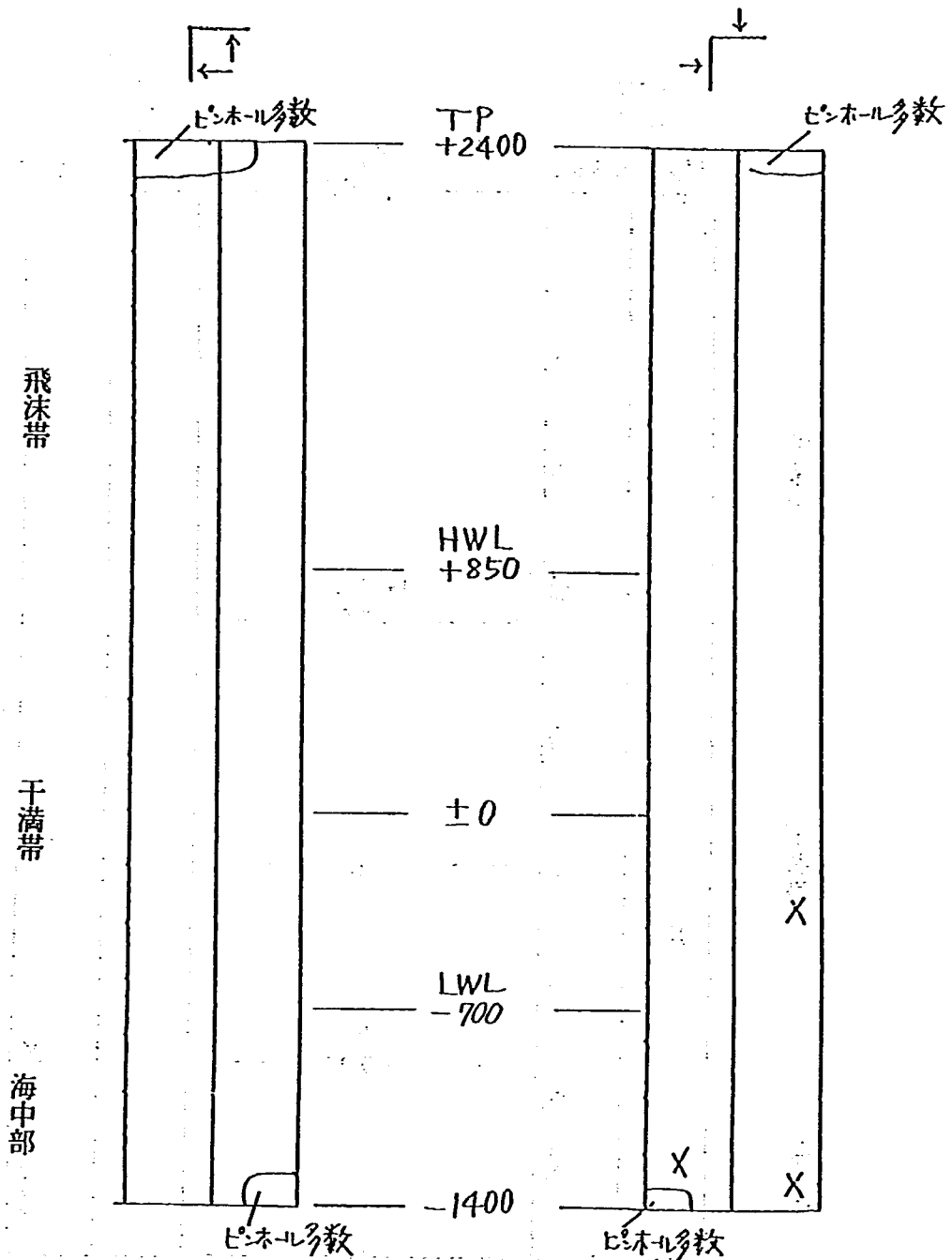
耐海水鋼 B-2-1

5年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6・19 回収塗装材のピンホール測定結果 (4)

L.C.-Cu-P系耐海水鋼 無機シリケート (75 μ m $\times$ 1回) + 有機材料 (300 μ m $\times$ 2回)



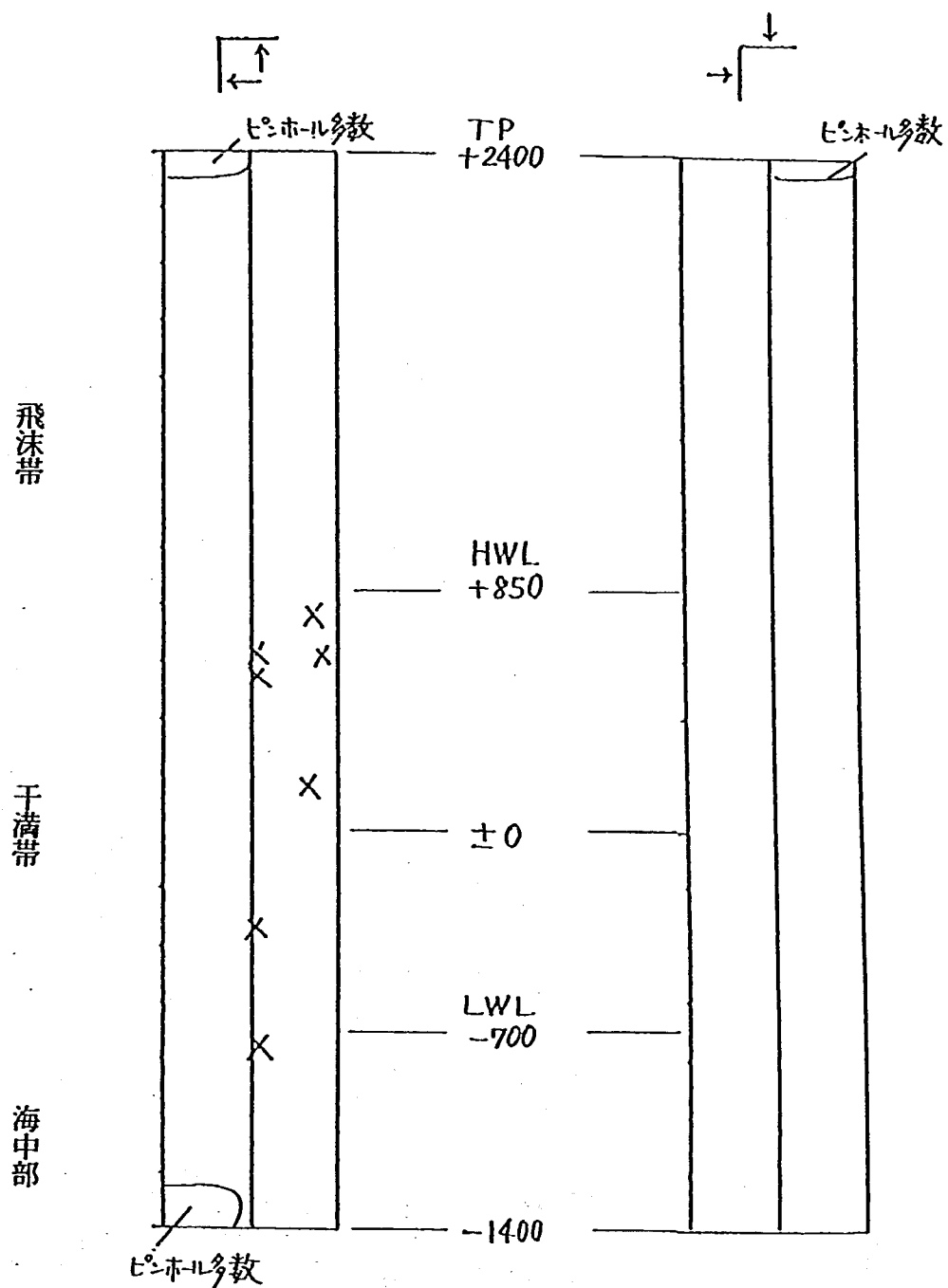
耐海水鋼 B-3-1

5年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6-20 回収塗装材のピンホール測定結果 (5)

普通鋼 (SS400) 無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + 珪酸珪酸 (300 μ m $\times$ 2回)



普通鋼 B-5-1

5年5ヵ月経過

× ピンホール

図-6.21 回収塗装材のピンホール測定結果 (6)

表-6・45 回収塗装材の付着力測定結果（9年5ヵ月経過後）

（1993年度）（研究テーマ2）

防食 施工法	方向	部位 測定	飛沫帯			干満帯			海中部			平均値			平均 (kgf/cm ²)
												飛沫帯	干満帯	海中部	
			付着力	35	38	28	28	7	60	32	18	37			
B-2-2 耐海水鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	南 側	付着力	90% TEの 凝集破壊 10% TEとIZ Pの層間剥離	85% TEの 凝集破壊 15% TEとIZ Pの層間剥離	85% TEの 凝集破壊 15% TEとIZ Pの層間剥離	80% TEの 凝集破壊 20% TEとIZ Pの層間剥離	60% TEの 凝集破壊 40% TEとIZ Pの層間剥離 (白い腐食生 成物あり)	100% TEの 凝集破壊	60% TEの 凝集破壊 40% TEとIZ Pの層間剥離 (一部に白い 腐食生成物あり)	70% TEの 凝集破壊 30% TEとIZ Pの層間剥離	60% TEの 凝集破壊 40% TEとIZ Pの層間剥離	33.7	31.7	29.0	30.4
		剥離 状況													
B-3-2 耐海水鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	北 側	付着力	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	90% TEの 凝集破壊 10% 接着剤 とド-リの層間 剥離	80% TEの 凝集破壊 20% 接着剤 とド-リの層間 剥離	80% TEの 凝集破壊 20% 接着剤 とド-リの層間 剥離	50% TEの 凝集破壊 50% TEとIZ Pの層間剥離	40% TEの 凝集破壊 60% TEとIZ Pの層間剥離	95% TEの 凝集破壊 5% 接着剤 とド-リの層間 剥離	80% TEの 凝集破壊 10% TEとIZ Pの層間剥離 10% 接着剤 とド-リの層間 剥離	33.7	28.0	26.0	
		剥離 状況													
B-5-2 普通鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	南 側	付着力	55	38	>70	10	5	18	10	17	35	54.3	11.0	20.7	27.3
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	30% TEの 凝集破壊 70% TEとIZ Pの層間剥離 (赤錆と白い 腐食生成物あり)	30% TEの 凝集破壊 70% TEとIZ Pの層間剥離 (赤錆と白い 腐食生成物あり)	20% TEの 凝集破壊 80% TEとIZ Pの層間剥離	40% TEの 凝集破壊 60% TEとIZ Pの層間剥離 (赤錆と白い 腐食生成物あり)	60% TEの 凝集破壊 40% TEとIZ Pの層間剥離 (一部に白い 腐食生成物あり)	80% TEの 凝集破壊 20% TEとIZ Pの層間剥離 (赤錆と白い 腐食生成物あり)				
B-5-2 普通鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	北 側	付着力	20	32	70	20	5	25	7	23	32	40.7	16.7	20.7	
		剥離 状況	80% TEの 凝集破壊 20% 接着剤 とド-リの層間 剥離	100% TEの 凝集破壊	90% TEの 凝集破壊 10% 接着剤 とド-リの層間 剥離	80% TEの 凝集破壊 20% TEとIZ Pの層間剥離	30% TEの 凝集破壊 70% TEとIZ Pの層間剥離 (白い腐食生 成物あり)	100% TEの 凝集破壊	60% TEの 凝集破壊 40% TEとIZ Pの層間剥離 (一部に白い 腐食生成物あり)	70% TEの 凝集破壊 30% TEとIZ Pの層間剥離	90% TEの 凝集破壊 1% 接着剤 とド-リの層間 剥離				
B-5-2 普通鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	南 側	付着力	32	63	30	35	35	60	68	23	26	41.7	43.3	39.0	36.6
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	90% TEの 凝集破壊 10% TEとIZ Pの層間剥離	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊				
B-5-2 普通鋼 + 無機ジंकクリ + フ-ルエシ ン	北 側	付着力	38	38	35	18	20	23	36	60	18	37.0	20.3	38.0	
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	95% TEの 凝集破壊 5% 接着剤 とド-リの層間 剥離	100% TEの 凝集破壊	70% TEの 凝集破壊 30% TEとIZ Pの層間剥離	75% TEの 凝集破壊 25% TEとIZ Pの層間剥離	80% TEの 凝集破壊 20% TEとIZ Pの層間剥離	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊	100% TEの 凝集破壊				
(注) TE:カールエポキシ樹脂塗料 IZP:無機ジंकクリッチペイント												40.2	25.2	28.9	

(注) TE: クールエポキシ樹脂塗料
IZP: 無機ジंकクリッチペイント

表-6-46 回収塗装材の付着力測定結果（5年5ヵ月経過後）

（1989年度）（研究テーマ2）

（kgf/cm²）

防食 施工法	方 向	部位 測定	飛 沫 帯			干 満 帯			海 中 部			平均値			平均		
			3 3	3 0	6 5	3 2	3 0	2 8	2 0	3 7	2 5	飛沫帯	干満帯	海中部			
(B-2-1) 耐海水鋼 + 無機シンク リッチ + クールエポ キシ	南 側	付着力	3 3	3 0	6 5	3 2	3 0	2 8	2 0	3 7	2 5	4 2. 7	3 0. 0	2 7. 3	2 9. 6		
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	同 左	同 左	同 左	50% TEの 凝集破壊 50% IZP/TE の層間剥離	80% TEの 凝集破壊 20% IZP/TE の層間剥離	65% TEの 凝集破壊 35% IZP/TE の層間剥離	60% TEの 凝集破壊 40% IZP/TE の層間剥離	90% TEの 凝集破壊 10% IZP/TE の層間剥離						
	北 側	付着力	2 6	1 5	2 9	2 1	2 2	3 7	4 5	1 8	2 0	2 3. 3	2 6. 7	2 7. 7			
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	85% TEの 凝集破壊 15% 接着材/ ドーリの層間 剥離	100% TEの 凝集破壊	同 左	同 左	95% TEの 凝集破壊 5% IZP/TE の層間剥離	85% TEの 凝集破壊 15% IZP/TE の層間剥離	90% TEの 凝集破壊 10% IZP/TE の層間剥離	80% TEの 凝集破壊 20% IZP/TE の層間剥離						
(B-3-1) 耐海水鋼 + 無機シンク リッチ + クールエポ キシ	南 側	付着力	3 1	4 2	4 5	2 5	1 0	4 5	2 0	5	1 2	3 9. 3	2 6. 7	1 2. 3	2 7. 1		
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊			15% IZP/TE の層間剥離 85% TEの 凝集破壊	40% TEの 凝集破壊 40% IZP/TE 20% 素地から の層間剥離	85% TEの 凝集破壊 15% IZP/TE の層間剥離	80% TEの 凝集破壊 20% IZP/TE の層間剥離	100% IZP/TE の層間剥離	75% TEの 凝集破壊 25% IZP/TE の層間剥離						
	北 側	付着力	2 7	2 8	2 5	3 0	2 8	2 3	4 2	2 8	2 2	2 6. 7	2 7. 0	3 0. 7			
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	同 左	20% TEの 凝集破壊 80% IZP/TE の層間剥離	95% TEの 凝集破壊 5% IZP/TE の層間剥離	100% TEの 凝集破壊	95% TEの 凝集破壊 5% IZP/TE の層間剥離	同 左	85% TEの 凝集破壊 15% IZP/TE の層間剥離	95% TEの 凝集破壊 5% IZP/TE の層間剥離						
(B-5-1) 普通鋼 + 無機シンク リッチ + クールエポ キシ	南 側	付着力	5 5	3 7	3 6	3 8	2 1	2 8	1 7	6 2	2 7	4 2. 7	2 8. 3	3 5. 3	3 2. 0		
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	同 左	同 左	同 左	50% TEの 凝集破壊 50% IZP/TE の層間剥離	90% TEの 凝集破壊 10% IZP/TE の層間剥離	55% TEの 凝集破壊 45% IZP/TE の層間剥離	100% TEの 凝集破壊	85% TEの 凝集破壊 15% IZP/TE の層間剥離						
	北 側	付着力	2 8	3 0	2 0	2 8	1 5	2 7	2 8	3 3	2 8	2 6. 0	2 3. 3	3 6. 3			
		剥離 状況	100% TEの 凝集破壊	60% TEの 凝集破壊 40% IZP/TE の層間剥離	100% TEの 凝集破壊	同 左	90% IZP の 損集破壊 10% IZP/TE の層間剥離	90% TEの 凝集破壊 10% IZP/TE の層間剥離	100% TEの 損集破壊	85% TEの 損集破壊 15% IZP/TE の層間剥離	20% 接着剤/ ドーリの層間 剥離 80% TEの 損集破壊						
注) TE : クールエポキシ樹脂塗料															3 3. 5	2 7. 0	2 8. 2

注) TE:クールエポキシ樹脂塗料
IZP:無機シンクリッチ

6.3.5 まとめ

1984年に開始した研究テーマ2「低合金系耐海水鋼の実使用状態における優位性の確認検討」に関する試験は今年度で約9年5ヵ月を経過したが、その調査結果をまとめると次のとおりである。

- (1) 裸材の腐食は、耐海水鋼と普通鋼とも飛沫帯上部で最大の腐食速度を示し、HWLよりやや下へむかって減少し、この付近で最小を示した。さらにその下方向はやや増加する傾向であった。
- (2) 耐海水鋼は、9年5ヵ月経過後でほとんどのレベルにおいて普通鋼よりも腐食速度は小さかった。とくに飛沫帯上部および干満帯の中央付近では、耐海水鋼の効果が現われていた。全レベルでの侵食度の平均では普通鋼の約67%であった。
- (3) 塗装材は、外観観察や膜厚、交流抵抗、ピンホール、付着力等の測定を行った。飛沫帯はほぼ健全な状態であるが、干満帯と海中部では部分的に性能低下の傾向を示すものが一部の系に認められた。
- (4) 塗膜下腐食については耐海水鋼と普通鋼に明瞭な相違がなかった。

6.4 研究テーマ3

1984年3月開始以来、9年5カ月経過後の調査結果は次のとおりである。

6.4.1 外観

試験材の外観観察は目視により行った。各塗覆装系とも他の系との境界部は観察の対象から外した。観察結果は所定の要領で記録票(V)に記入した。記入方法としては、観察位置と方向を東西南北で表示し、さらに配置の内側、外側の別も併記した。観察対象の円周面はそれぞれの観察方向からの180度分を展開して示し、反対方向とで1/2ずつを表記できるようにした。記録票は参考として外観写真とともに別冊にまとめた。

表-6・47は9年5カ月経過後の試験材外観観察結果を示す。それらを要約すると次のとおりである。

- (1) 全般的に塗覆装材の劣化は、軽微な状態であった。
- (2) 飛沫帯では、防食系NO.8に大きな塗膜の剝離と、剝離箇所の一部に赤錆が認められた。防食系NO.2の1B-1Cの上部には、人為的とおもわれるあてきずが生じ、下部では一部の上塗塗膜の剝離が認められた。防食系NO.7の一部の上塗に小さなふくれ、防食系NO.2,5にチョーキングによるガラスフレークの露出が認められた。
- (3) 防食系NO.2,3,5,6,7には小さなあて傷がみられるが、これは環境条件以外の原因によると考えられる。
- (4) 防食系NO.11では杭3Cの現場積層FRPカバーが流失していた。その他では、防食系NO.10-1ではカバー端末処理部の一部に剝離、防食系NO.12では一部のFRPカバーにクラックが数箇所認められた。これらはいずれも台風や低気圧による大きな波浪や、流木の衝撃による被害と考えられた。

(注) なお、研究テーマ3の試験対象となる防食塗覆装は、試験施設の第3デッキおよびそれを支える鋼管杭に施工あるいは取付けて暴露されているが、そのうち第3デッキは、各分科会や一般の調査、見学、作業等の際に歩行路や一時的な器材置場等になるので、多少の塗膜損傷は避けられなかったものと思われる。

表-6・47(1) 防食塗覆装試験材の外観観察結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

飛: 飛沫帯、海: 海中部、大: 海上大気部を示す。→は、斜材の傾き(矢先下)を示す。

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	外観
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m)+GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3回)+ポリウレタン(30 μ m)	直立材	1 C	西側(外側) 赤錆(230 $\times$ 40) クラック一部赤錆(30 $\times$ 10) 東側(内側) 赤錆(7 $\times$ 5)
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ソックリッチ(75 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	1 B	異状なし
			飛・水平材	1 A-1 B	西側(外側) 補修跡周囲赤錆(80 $\times$ 70, 90 $\times$ 65, 60 $\times$ 10) あて傷クラック(19 $\times$ 10) 東側(内側) あて傷赤錆(13 $\times$ 2)中塗まで(25 $\times$ 5)
				1 B-1 C	上部チーキング 西側(外側) あて傷ZRP露出(250 $\times$ 210) 中央部赤錆(80 $\times$ 20)* ZRP露出(30 $\times$ 50, 20 $\times$ 20, 80 $\times$ 15)* 下面に上塗の剝離(30 $\times$ 35 $\sim$ 300 $\times$ 150)14カ所一部赤 錆あり 東側(内側) あて傷中塗まで(41 $\times$ 25, 51 $\times$ 32, 62 $\times$ 39) 92 $\times$ 14)
			海・水平材	1 B-2 B	海中部で観察できず
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μ m)+GFポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	2 B	異状なし
			飛・水平材	1 B-2 B	南側あて傷(23 $\times$ 40 $\sim$ 380 $\times$ 160)4カ所、赤錆(9 $\times$ 6 $\sim$ 73 $\times$ 25)4カ所 北側あて傷(6 $\times$ 3 $\sim$ 44 $\times$ 7)5カ所、赤錆(17 $\times$ 13 $\sim$ 47 $\times$ 12)4 カ所 あて傷一部赤錆(318 $\times$ 60)
				2 B-2 C	東側赤錆(400 $\times$ 160, 49 $\times$ 22) あて傷(7 $\times$ 4 $\sim$ 24 $\times$ 11)6カ所 こすり傷(70 $\times$ 10, 170 $\times$ 10) 北側赤錆(6 $\times$ 4)、あて傷(8 $\times$ 6 $\sim$ 32 $\times$ 17)5カ所
			海・水平材	2 B-3 B	海中部で観察できず
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ(3回塗り、2000 μ m)	直立材	2 C	西側ボルトナット との溶接部周囲に赤錆(2 $\times$ 30, 50 $\times$ 2)
無機ソックリッチ(75 μ m)+エポキシ系プライマー(30 μ m) +GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)		直立材	1 A	西側(外側) 上塗剝離(180 $\times$ 150)一部赤錆 東側(内側) あて傷(10 $\times$ 10)* クラック(10 $\times$ 2)	
		飛・水平材	1 A-2 A	南側(外側) こすり傷(50 $\times$ 1 $\sim$ 215 $\times$ 1)5カ所 クラック(12 $\times$ 0.1, 62 $\times$ 0.2, 45 $\times$ 0.3, 40 $\times$ 1) チーキング中塗露出(20 $\times$ 850, 20 $\times$ 700)* 北側(内側) 赤錆(29 $\times$ 16) こすり傷(36 $\times$ 2) クラック(18 $\times$ 0.2)	
		海・水平材	1 A-2 A 1 A-1 B	} 海中部で観察できず	

*本年度発生

注) 表中()内の数値は、錆、傷等の大きさを示す。
試験体長手方向を縦とし(クテ $\times$ ヨコ)mm単位で示す。

表-6・47(2) 防食塗覆装試験材の外観観察結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

飛 : 飛沫帯、海 : 海中部、大 : 海上大気部を示す。→は、斜材の傾き (矢先下) を示す。

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	外観
6	厚膜エポキシ	有機シンクリッチ(15 μ m)+エポキシ(2000 μ m)	直立材	3 A	東側 (外側) こすり傷、一部赤錆(10 $\times$ 50)
			飛・水平材	2 A - 3 A	南側 (外側) クラック(7 $\times$ 0.2, 10 $\times$ 0.5) 赤錆(20 $\times$ 40, 40 $\times$ 30, 180 $\times$ 40) 北側 (内側) 赤錆(4 $\times$ 9, 7 $\times$ 3, 15 $\times$ 6)
				1 C - 2 C	南側 (内側) あて傷による赤錆(35 $\times$ 20)
			海・水平材	3 A - 2 A	海中部で観察できず
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m)+ポリウレタン(2000 μ m) +ポリウレタン(30 μ m)	直立材	3 B	東側 (外側) 中塗までのあて傷(20 $\times$ 20 $\sim$ 80 $\times$ 50)7カ所 西側 (内側) 上塗剝離(3 $\times$ 10, 7 $\times$ 3, 15 $\times$ 5)
			飛・水平材	3 A - 3 B	東側 (外側) 一部に上塗のふくれ(14 $\times$ 21)あり あて傷(6 $\times$ 5, 4 $\times$ 6, 15 $\times$ 1) 西側 (内側) 中塗までのあて傷(10 $\times$ 2 $\sim$ 33 $\times$ 0.2)8カ所
				2 B - 3 B	北側あて傷(11 $\times$ 1 $\sim$ 22 $\times$ 4)8カ所 南側あて傷(4 $\times$ 4 $\sim$ 15 $\times$ 12)5カ所 赤錆(8 $\times$ 5)
			海・水平材	3 A - 3 B	海中部で観察できず
8-1	エポキシ系 レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m) +エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+ポリウレタン(50 μ m)	直立材	2 A	飛沫帯水平材直下に中塗からの剝離 (東側、100 $\times$ 850, 西側、200 $\times$ 900)
			飛→海 斜材	2 A \ 1 A	異状なし
8-2		エポキシ系プライマー(25 μ m) +エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+アクリル(50 μ m)	飛→海 斜材	2 B \ 2 A 2 B \ 1 B 2 B \ 2 C 2 C \ 3 C	} 異状なし

注) 表中 () 内の数値は、錆、傷等の大きさを示す。
試験体長手方向を縦とし (タテ $\times$ ヨコ) mm単位で示す。

表-6・47(3) 防食塗覆装試験材の外観観察結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

飛:飛沫帯、海:海中部、大:海上大気部を示す。→は、斜材の傾き(矢先下)を示す。

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	外観	備考
9-1	ベトロタム+カバー	ベトロタムペースト(2.5kg/m ²)+ポリウレタン発泡体(緩衝材5mm)+FRPカバー(3mm)	飛→海 斜材	1C\2C	下端部バンドとFRPの間隙間あり	1985年台風により損傷(FRPカバー流失、防食テープ部残存するも発錆)を補修
9-2	エポキシ+防汚材	無機シリクリッチ(50μm)+エポキシ(500μm×2回)+有機錫系防汚塗料(100μm)	飛→海 斜材	1A\1B	異状なし	——
9-3		無機シリクリッチ(50μm)+エポキシ(500μm×2回)+アクリル系ガル防汚テープ(3mm)	飛→海 斜材	1B\1C	一部にテープのめくれあり	——
10-1	ゴム系粘着材	ブチルゴム系粘着材(1.2mm)+FRPカバー(3mm)	飛・水平材	2A-2B 2C-3C 3B-3C	異状なし 2C側端部、端末処理テープ一部剝離 異状なし	1990年台風により端末テープ一部剝離、10月補修
10-2	+カバー	ブチルゴム系粘着材(1.2mm)+NR系膨潤ゴム(3mm)+FRPカバー(4mm)	直立材	3Cの 1/2(下)	異状なし	——
11	ベトロタム+カバー	ベトロタムペースト(0.3kg/m ²)+ベトロタムテープ(1mm)+FRPカバー(光硬化型3mm)+ポリウレタン(0.2kg/m ²)	飛→海 斜材	3A\2A 3B\3A 3C\3B 2B\3B	異状なし	——
			直立材	3Cの 1/2(上)	FRPカバーおよびテープ流失*	1990年台風により流失補修 1991年台風により一部破損補修
12	ベトロタム+カバー	ベトロタムペースト(0.5kg/m ²)+ベトロタムテープ(55%ラップ)+発泡PE(10mm)+FRPカバー(2mm)	大→飛 直立材 (接続部)	1A 2A 3A 1B 2B 3B 1C 2C 3C	異状なし 表面にクラック(100×1.70×1.100×1) カバー外形に変形あり 異状なし 異状なし 表面にクラック(70×1.50×1) 異状なし 異状なし 異状なし	1989年5月防食仕様を従来の12-1(1A, 1C)に統一し、杭1C以外の施工完了、施工時の観察調査は別途報告 台風により1990年は、FRP表層にはがれ、クラックを生じた。1991年はカバーの一部破損消失した。いずれも、補修済

※1993年度に発生

注) 表中()内の数値は、錆、傷等の大きさを示す。
試験体長手方向を縦とし(タテ×ヨコ)mm単位で示す。

6.4.2 生物付着状況

試験材の生物付着の観察結果は、前述の記録票（Ⅲ）に記入した。また代表的な防食塗覆装について下端部付近（TP-1750mm付近）で直立材は南東、斜材は南西の300mm×300mmの範囲で付着生物を採集して秤量した。その結果を表-6・48に示した。

一般に干満帯から海中部にかけて最も生物付着が多く、種類としてはほとんどがフジツボ、イガイ、カキ類であった。試験開始初期の数年は防汚材料を使用した試験材に生物付着が少なかったが、現在ではその他の試験材と同じ様に生物が付着し、塗覆装の種類による付着量の著しい差はなかった。

海中部の塗覆装下端部付近における生物除去後の塗覆装材にはいずれも異状は認められなかった。

6.4.3 塗膜の膜厚、交流抵抗、ピンホール

塗膜調査として、膜厚、塗膜抵抗、ピンホールの有無を測定した。測定対象とした塗装部位は、表-4・10に示す直立材8本と飛沫帯水平材9本でありこのうち直立材は第3デッキ上面20cmから下方へ40cmの範囲とし、水平材では円周の上面1/2を範囲とした。各測定とも他の塗覆装との境界部付近は対象から外した。図-6・22にその測定位置を示した。1部位毎に膜厚は4カ所で繰り返し3回、交流抵抗の測定は2カ所で50mm×50mmを測定範囲とするアルミ箔電極をはりつけて行なった。はりつけには、CMCと人工海水を練ったペーストを用いた。

測定結果を表-6・49～6・51に示した。

膜厚の測定値は年度によって変動があるが、これは厳密な意味での測定箇所の違いによって膜厚が異なったもので、9年5ヵ月経過しても塗膜の消耗に関して明確な結果はでていない。

交流抵抗の値は年度によって多少の変化があるものの、現時点で塗膜の劣化状態を示すものとは考えられない。

ピンホールは防食系NO.6で多数の箇所に検出された。その他、防食系NO.2、NO.3、NO.5、NO.7で少数検出された。

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	1984年 (8ヵ月)		1985年 (1.5年)		1986年 (2年5ヵ月)	
					採取直後 84.12.5	乾燥後 85.2.1	採取直後 85.8.6	乾燥後 85.12.13	採取直後 86.7.25	乾燥後 86.12.2
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m)+GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3回)+ポリウレタン(30 μ m)	直立材	1C					5.55	1.68
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ソックリッチ(75 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	1B			16.0	13.3	14.9	6.94
3		ポリエステル系プライマー(60 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	海・水平材	1B-2B	5.6	5.5				
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ(3回塗り、2000 μ m)	直立材	2C					7.55	4.07
5		無機ソックリッチ(75 μ m)+エポキシ系プライマー(30 μ m) +GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)	直立材	1A	12.2	10.6			8.77	3.36
			海・水平材	1A-2A			27.8	23.9		
6	厚膜エポキシ	有機ソックリッチ(15 μ m)+エポキシ(2000 μ m)	直立材	3A	20.0	15.6	22.7	20.4	11.9	5.57
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m)+ポリウレタン(2000 μ m) +ポリウレタン(30 μ m)	直立材	3B	24.7	18.9	22.3	18.8	15.8	7.70
8-1	エポキシ系 レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+ポリウレタン(50 μ m)	直立材	2A			11	10.4	14.1	6.04
8-2		エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+7クリル(50 μ m)	飛→海 斜材	2A\1A 2C\3C	25.3	19.4	13.9	12.0		
9-1	ベトロラム+カバー	ベトロラムベスト(2.5kg/m ²)+ポリウレタン発泡体(緩 衝材5mm)+FRPカバー(3mm)	飛→海 斜材	1C\2C	17.2	13.4	*	*	2.00	0.65
9-2	エポキシ系 +塗料/テープ	無機ソックリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +有機金属系防汚塗料(100 μ m)	飛→海 斜材	1A\1B			7.1	6.0	5.77	2.25
9-3		無機ソックリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +7クリル系ガル防汚テープ(3mm)	"	1B\1C						
10-2	ゴム系粘着材 +カバー	ブチルゴム系粘着材(1.2mm)+NR系膨潤ゴム(3mm)+ FRPカバー(4mm)	直立材	3Cの 1/2(下)			25.7	22.0	10.9	4.23
11	ベトロラム+カバー	ベトロラムベスト(0.3kg/m ²)+ベトロラムテープ(1mm)+ FRPカバー(光硬化型3mm)+ポリウレタン(0.2kg/m ²)	飛→海 斜材	3B\3A 3C\3B	24.4	19.8	15.6	14.8	15.4	7.06

飛：飛沫帯、海：海中部、大：大気部を示す。→は、斜材の傾き(矢先下)を示す。
付着量は、300 $\times$ 300mm = 900cm²からkg/m²に換算した。

*：1985年カバー取り替え

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	1987年 (3年5ヵ月)		1988年 (4年5ヵ月)		1989年 (5年5ヵ月)		1990年 (6年5ヵ月)	
					採取直後 87. 8. 5	乾燥後 87.11.20	採取直後 88. 8. 5	乾燥後 88.11.30	採取直後 89. 8.24	乾燥後 89.11. 6	採取直後 90. 8.27	乾燥後 90.10.18
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m)+GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3回)+ポリウレタン(30 μ m)	直立材	1 C	4.3	2.4	13.7	6.0	57.1	25.3	11.7	5.6
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ジンクリッチ(75 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	1 B	5.8	3.5	13.6	5.9	37.4	16.6	13.9	6.3
3		ポリエステル系プライマー(60 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	2 B	5.5	3.4	8.8	3.5	6.1	2.9	7.7	3.8
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ(3回塗り、2000 μ m)	直立材	2 C	5.6	3.7	5.9	2.5	26.2	13.2	12.2	6.4
5		無機ジンクリッチ(75 μ m)+エポキシ系プライマー(30 μ m) +GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)	直立材	1 A	13.2	6.2	16.4	7.1	10.0	5.0	11.1	5.3
6	厚膜エポキシ	有機ジンクリッチ(15 μ m)+エポキシ(2000 μ m)	直立材	3 A	8.3	4.7	14.6	5.9	22.2	10.4	10.3	6.4
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m)+ポリウレタン(2000 μ m) +ポリウレタン(30 μ m)	直立材	3 B	5.4	3.2	12.8	5.1	20.8	10.2	13.6	7.7
8-1	エポキシ系	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジソル(2000 μ m)+ポリウレタン(50 μ m)	直立材	2 A	10.1	5.1	15.9	5.2	21.6	10.4	27.3	12.2
8-2	レジソル	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジソル(2000 μ m)+アクリル(50 μ m)	飛→海 斜材	2A\1A 2C\3C			21.9	10.7	14.4	7.4	10.9	5.2
9-1	ベトロタム+カバ-	ベトロタムベスト(2.5kg/m ²) ポリウレタン発泡体(緩衝 材5mm)+FRPカバ- (3mm)	飛→海 斜材	1C\2C	0.7	0.3	10.6	5.1	15.0	8.4	11.9	7.7
9-2	エポキシ系	無機ジンクリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +有機金属系防汚塗料(100 μ m)	飛→海 斜材	1A\1B	4.7	2.6	25.7	12.4	18.7	9.7	6.1	3.4
9-3	+塗料/テープ	無機ジンクリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +アクリル系防汚テープ(3mm)	"	1B\1C	4.3	2.7	22.6	6.9	27.9	13.3	6.5	2.6
10-2	ゴム系粘着材 +カバ-	ブチルゴム系粘着材(1.2mm)+NR系膨潤ゴム(3mm)+ FRPカバ-(4mm)	直立材	3 Cの 1/2(下)	4.3	2.7	13.3	6.1	20.6	9.8	14.3	8.5
11	ベトロタム+カバ-	ベトロタムベスト(0.3kg/m ²)+ベトロタムテープ(1mm)+ FRPカバ-(光硬化型3mm)+ポリウレタン(0.2kg/m ²)	飛→海 斜材	3B\3A 3C\3B	5.8	3.3	13.5	6.4	13.8	7.4	14.9	7.7

飛：飛沫帯、海：海中部、大：大気部を示す。→は、斜材の傾き(矢先下)を示す。
付着量は、300 $\times$ 300mm = 900cm²からkg/m²に換算した。

No.	防食系	防食仕様	施工部材	施工位置	1991年 (7年5ヵ月)		1993年 (9年5ヵ月)	
					採取直後 91.7.16	乾燥後 91.10.14	採取直後 93.10.21	乾燥後 93.11.18
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m)+GF入りビニルエステル (300 μ m $\times$ 3回)+ポリウレタン(30 μ m)	直立材	1C	23.3	12.6	19.4	11.0
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ジソクリッチ(75 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	1B	34.4	15.1	11.3	6.8
3		ポリエステル系プライマー(60 μ m)+GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	2B	5.0	2.4	10.6	5.0
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ(3回塗り、2000 μ m)	直立材	2C	21.1	11.2	13.6	7.1
5		無機ジソクリッチ(75 μ m)+エポキシ系プライマー(30 μ m) +GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)	直立材	1A	9.2	5.2	8.9	5.2
6	厚膜エポキシ	有機ジソクリッチ(15 μ m)+エポキシ(2000 μ m)	直立材	海・水平材	1A-2A			
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m)+ポリウレタン(2000 μ m) +ポリウレタン(30 μ m)	直立材	3A	20.6	10.6	12.1	6.1
8-1	エポキシ系	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+ポリウレタン(50 μ m)	直立材	3B	10.3	5.7	29.9	17.8
8-2	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+アクリル(50 μ m)	直立材	2A	32.2	16.4	12.2	6.1
9-1	ベトロタム+カバー	ベトロタムベスト(2.5kg/m ²)+ポリウレタン発泡体(緩衝 材5mm)+FRPカバー(3mm)	飛→海 斜材	2A\1A 2C\3C	26.7	11.8	12.9	6.7
9-2	エポキシ系	無機ジソクリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +有機金属系防汚塗料(100 μ m)	飛→海 斜材	1C\2C	56.4	26.9	17.7	9.8
9-3	+塗料/テープ	無機ジソクリッチ(50 μ m)+エポキシ(500 μ m $\times$ 2回) +アクリル系ゲル防汚テープ(3mm)	飛→海 斜材	1A\1B	62.1	28.2	7.2	3.3
10-2	ゴム系粘着材 +カバー	ブチルゴム系粘着材(1.2mm)+NR系膨潤ゴム(3mm)+ FRPカバー(4mm)	飛→海 斜材	1B\1C	38.7	17.3	12.9	6.7
11	ベトロタム+カバー	ベトロタムベスト(0.3kg/m ²)+ベトロタムテープ(1mm)+ FRPカバー(光硬化型3mm)+ポリウレタン(0.2kg/m ²)	直立材	3Cの 1/2(下)	17.2	9.3	12.9	7.3
			飛→海 斜材	3B\3A 3C\3B	10.4	3.8	15.7	8.9

飛：飛沫帯、海：海中部、大：大気部を示す。→は、斜材の傾き(矢先下)を示す。
付着量は、300 $\times$ 300mm = 900cm²からkg/m²に換算した。
* : 1985年カバー取り替え

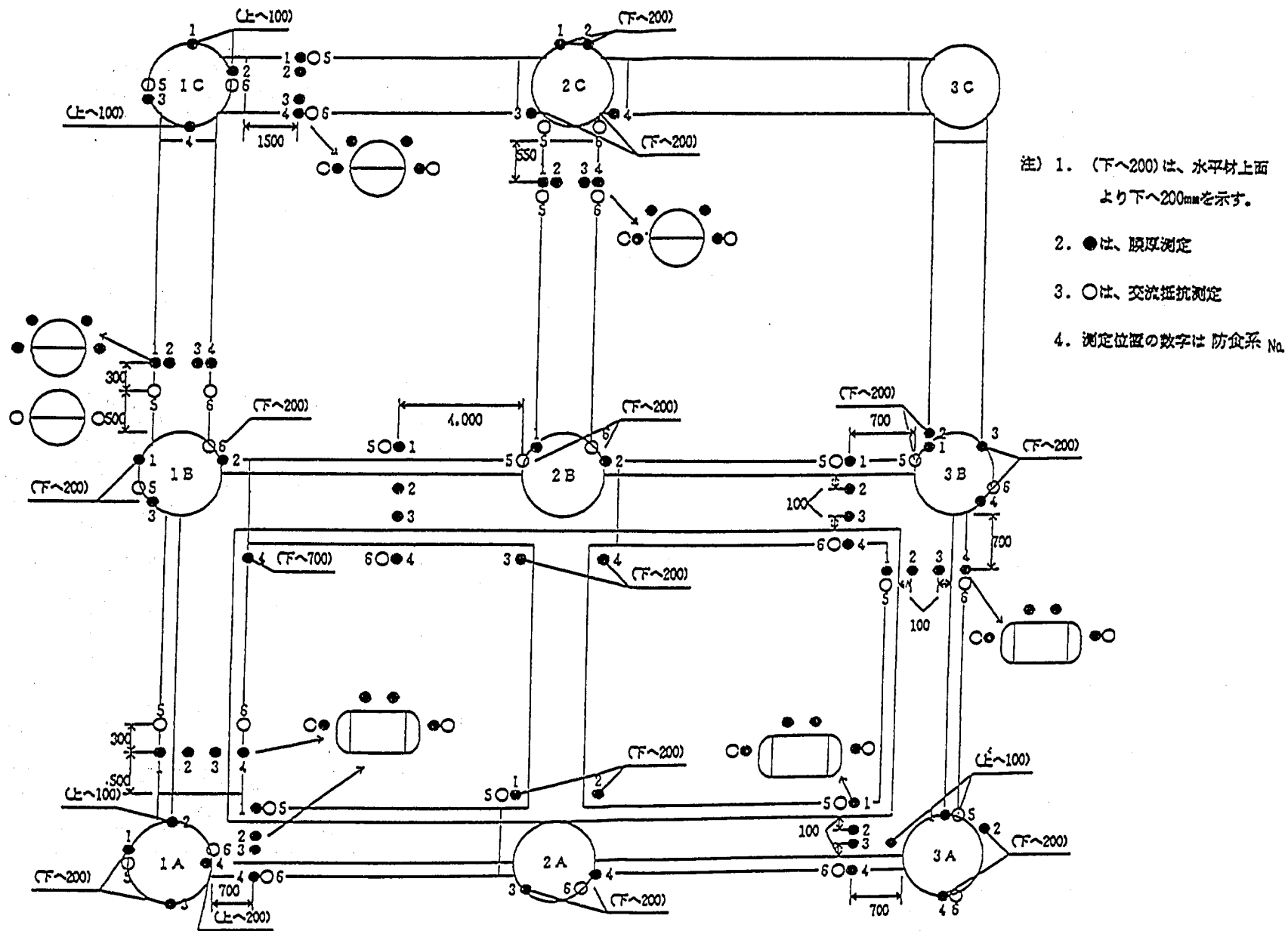


図-6-22 塗装部の測定位置 (研究テーマ3)

(研究テーマ 3)

表-6-49(1) 塗装部の交流抵抗測定結果

〔測定周波数: 1kHz〕 〔単位: $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1984年		1985年		1986年	
					5	6	5	6	5	6
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	1.93×10^7	3.35×10^7	1.45×10^7	2.06×10^7	1.31×10^8	3.20×10^7
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジンクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	4.33×10^7	7.53×10^7	5.20×10^7	2.06×10^7	7.53×10^7	1.68×10^8
			水平材	1A-1B	5.73×10^7	7.78×10^8	4.48×10^7	1.49×10^7	9.71×10^7	1.88×10^7
				1B-1C	3.00×10^7	4.08×10^7	4.73×10^7	3.98×10^8	1.70×10^8	1.39×10^8
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	2.10×10^7	3.10×10^7	9.55×10^8	5.65×10^8	2.69×10^7	2.69×10^7
			水平材	1B-2B	1.88×10^7	1.98×10^7	2.11×10^7	1.83×10^7	4.08×10^7	5.48×10^7
				2B-2C	5.78×10^7	2.80×10^8	9.68×10^8	9.40×10^8	1.11×10^7	6.72×10^8
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	1.88×10^7	2.48×10^7	5.33×10^8	3.30×10^8	6.23×10^7	9.56×10^7
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	1.03×10^8	2.70×10^7	3.55×10^7	2.73×10^7	3.17×10^7	8.24×10^7
			水平材	1A-2A	2.30×10^8	2.05×10^8	1.72×10^7	2.85×10^7	9.89×10^7	2.06×10^8
6	厚膜エポキシ	有機ジンクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	5.10×10^7	5.13×10^7	2.38×10^7	1.12×10^7	1.09×10^8	1.61×10^8
			水平材	2A-3A	5.53×10^7	6.58×10^8	2.03×10^7	1.05×10^7	9.93×10^7	2.33×10^8
				1C-2C	6.68×10^7	7.05×10^7	2.60×10^7	2.58×10^7	7.97×10^7	1.65×10^8
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	6.95×10^7	4.75×10^7	6.70×10^7	1.80×10^7	1.36×10^7	9.28×10^8
			水平材	3A-3B	8.15×10^7	1.56×10^8	1.27×10^7	2.20×10^7	3.00×10^7	4.08×10^7
				2B-3B	9.75×10^8	6.90×10^7	4.15×10^8	3.08×10^8	6.04×10^7	7.21×10^7
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	2.73×10^7	8.85×10^7	1.09×10^7	1.44×10^7	3.00×10^7	3.68×10^7

(研究テーマ 3)

表-6-49(2) 塗装部の交流抵抗測定結果

(測定周波数: 1KHz) [単位: $\Omega \cdot \text{cm}^2$]

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1987年		1988年		1989年	
					5	6	5	6	5	6
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	1.09 $\times 10^8$ (補修部)	1.46 $\times 10^8$	1.17 $\times 10^8$	1.53 $\times 10^8$	4.17 $\times 10^8$	4.20 $\times 10^8$
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ジンクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	5.83 $\times 10^8$	2.89 $\times 10^8$	2.88 $\times 10^8$	3.59 $\times 10^8$	3.21 $\times 10^8$	3.25 $\times 10^8$
			水平材	1A-1B	5.74 $\times 10^8$	4.66 $\times 10^8$	3.84 $\times 10^8$	3.42 $\times 10^8$	3.09 $\times 10^8$	3.97 $\times 10^8$
				1B-1C	1.98 $\times 10^8$	2.39 $\times 10^8$	2.52 $\times 10^8$	3.32 $\times 10^8$	1.89 $\times 10^8$	2.97 $\times 10^8$
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	1.04 $\times 10^8$	1.12 $\times 10^8$	1.21 $\times 10^8$	1.37 $\times 10^8$	1.01 $\times 10^8$	1.20 $\times 10^8$
			水平材	1B-2B	1.12 $\times 10^8$	7.90 $\times 10^7$	1.04 $\times 10^8$	8.33 $\times 10^7$	1.16 $\times 10^8$	8.75 $\times 10^7$
				2B-2C	6.67 $\times 10^7$	5.03 $\times 10^7$	6.15 $\times 10^7$	6.72 $\times 10^7$	4.40 $\times 10^7$	5.97 $\times 10^7$
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	6.14 $\times 10^8$	7.36 $\times 10^8$	5.17 $\times 10^8$	4.74 $\times 10^8$	3.17 $\times 10^8$	6.81 $\times 10^8$
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	5.99 $\times 10^8$	5.50 $\times 10^8$	4.27 $\times 10^8$	5.09 $\times 10^8$	2.35 $\times 10^8$	6.99 $\times 10^8$
			水平材	1A-2A	3.26 $\times 10^8$	8.74 $\times 10^8$	4.91 $\times 10^8$	5.50 $\times 10^8$	4.26 $\times 10^8$	5.72 $\times 10^8$
6	厚膜エポキシ	有機ジンクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	1.30 $\times 10^8$	3.93 $\times 10^8$	1.87 $\times 10^8$	4.38 $\times 10^8$	2.16 $\times 10^8$	5.86 $\times 10^8$
			水平材	2A-3A	3.22 $\times 10^8$	4.94 $\times 10^8$	3.37 $\times 10^8$	3.88 $\times 10^8$	3.87 $\times 10^8$	3.95 $\times 10^8$
				1C-2C	4.05 $\times 10^8$	4.78 $\times 10^8$	3.25 $\times 10^8$	3.86 $\times 10^8$	1.96 $\times 10^8$	1.86 $\times 10^8$
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	3.21 $\times 10^8$	4.48 $\times 10^8$	3.49 $\times 10^8$	4.63 $\times 10^8$	3.60 $\times 10^8$	5.02 $\times 10^8$
			水平材	3A-3B	2.69 $\times 10^8$	2.40 $\times 10^8$	2.90 $\times 10^8$	3.60 $\times 10^8$	1.88 $\times 10^8$	2.71 $\times 10^8$
				2B-3B	1.65 $\times 10^8$	2.69 $\times 10^8$	2.21 $\times 10^8$	3.53 $\times 10^8$	2.33 $\times 10^8$	3.15 $\times 10^8$
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	5.95 $\times 10^7$	1.22 $\times 10^8$	5.93 $\times 10^7$	1.14 $\times 10^8$	1.32 $\times 10^8$	1.76 $\times 10^8$

系 No	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1 9 9 0 年					
					5			6		
					(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)	(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	5.09×10^5	2.37×10^5	1.12×10^5	1.57×10^5	7.26×10^5	4.78×10^5
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジンクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	1.83×10^5	9.03×10^4	5.58×10^4	1.41×10^5	7.18×10^5	4.40×10^5
			水平材	1A-1B	1.76×10^5	9.07×10^4	5.17×10^4	1.40×10^5	7.07×10^5	3.65×10^5
				1B-1C	8.36×10^4	4.12×10^4	2.45×10^4	1.01×10^5	5.01×10^5	3.08×10^5
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	4.56×10^4	2.03×10^4	1.17×10^4	3.29×10^4	1.51×10^5	9.84×10^4
			水平材	1B-2B	3.36×10^4	1.76×10^4	1.08×10^4	2.74×10^4	1.41×10^5	8.16×10^4
				2B-2C	1.62×10^4	9.26×10^3	5.63×10^3	1.33×10^4	8.15×10^4	5.19×10^4
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	2.42×10^5	1.14×10^5	6.69×10^4	3.29×10^5	1.60×10^5	9.17×10^4
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	1.85×10^5	1.05×10^5	6.59×10^4	2.36×10^5	1.26×10^5	7.81×10^4
			水平材	1A-2A	1.02×10^5	5.50×10^4	3.49×10^4	2.09×10^5	1.04×10^5	5.87×10^4
6	厚膜エポキシ	有機ジンクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	3.93×10^5	2.44×10^5	1.75×10^5	1.89×10^5	9.19×10^5	5.55×10^5
			水平材	2A-3A	1.04×10^5	5.35×10^4	3.60×10^4	1.68×10^5	8.71×10^5	5.43×10^5
				1C-2C	9.40×10^4	4.95×10^4	3.00×10^4	9.60×10^4	4.90×10^4	2.95×10^4
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	3.38×10^5	8.65×10^4	4.16×10^4	1.55×10^5	8.24×10^5	4.60×10^5
			水平材	3A-3B	1.29×10^5	4.90×10^4	2.69×10^4	9.10×10^4	5.04×10^5	2.96×10^5
				2B-3B	1.56×10^5	4.07×10^4	2.20×10^4	1.81×10^5	7.27×10^5	3.59×10^5
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	2.27×10^5	1.46×10^5	1.03×10^5	3.90×10^5	2.43×10^5	1.68×10^5

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1 9 9 1 年					
					5			6		
					(0.2kHz)	(0.5kHz)	(1kHz)	(0.2kHz)	(0.5kHz)	(1kHz)
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	3.58×10^4	1.70×10^4	1.21×10^4	9.95×10^4	5.48×10^4	3.45×10^4
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジシクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	9.35×10^4	4.73×10^4	2.98×10^4	1.01×10^5	6.00×10^4	3.90×10^4
			水平材	1A-1B	1.44×10^5	7.38×10^4	4.93×10^4	1.55×10^5	7.60×10^4	5.08×10^4
				1B-1C	6.85×10^4	3.30×10^4	2.03×10^4	8.75×10^4	4.35×10^4	2.60×10^4
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	4.20×10^4	2.17×10^4	1.37×10^4	3.48×10^4	1.99×10^4	1.25×10^4
			水平材	1B-2B	3.35×10^4	1.72×10^4	1.08×10^4	2.24×10^4	1.13×10^4	6.75×10^3
				2B-2C	2.00×10^4	1.03×10^4	6.90×10^3	1.77×10^4	9.30×10^3	5.83×10^3
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	1.21×10^5	5.63×10^4	3.85×10^4	2.02×10^5	1.14×10^5	7.53×10^4
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジシクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	1.36×10^5	6.95×10^4	4.60×10^4	4.68×10^4	2.43×10^4	1.47×10^4
			水平材	1A-2A	9.85×10^4	5.75×10^4	3.73×10^4	1.07×10^5	6.35×10^4	4.13×10^4
6	厚膜エポキシ	有機ジシクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	5.03×10^4	2.98×10^4	2.03×10^4	1.66×10^4	8.43×10^4	5.50×10^4
			水平材	2A-3A	4.60×10^4	2.78×10^4	1.82×10^4	8.10×10^4	5.50×10^4	3.90×10^4
				1C-2C	7.35×10^4	4.15×10^4	2.60×10^4	7.55×10^4	4.35×10^4	2.80×10^4
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	1.83×10^5	7.48×10^4	4.03×10^4	1.54×10^5	6.63×10^4	3.85×10^4
			水平材	3A-3B	1.13×10^5	4.50×10^4	2.43×10^4	1.89×10^5	8.45×10^4	4.78×10^4
				2B-3B	9.55×10^4	3.75×10^4	1.95×10^4	1.73×10^5	6.43×10^4	3.50×10^4
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	1.87×10^4	1.17×10^4	8.13×10^3	1.79×10^4	2.08×10^4	1.53×10^4

表-6-49(5) 塗装部の交流抵抗測定結果

(研究テーマ 3)

〔単位: $\Omega \cdot \text{cm}^2$ 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1 9 2 年					
					5			6		
					(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)	(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	7.21×10^4	2.43×10^4	1.24×10^4	9.87×10^4	3.07×10^4	1.09×10^4
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジンクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	1.07×10^5	5.88×10^4	3.86×10^4	5.68×10^4	2.99×10^4	3.16×10^4
			水平材	1A-1B	1.59×10^5	7.45×10^4	4.47×10^4	5.55×10^4	2.77×10^4	1.51×10^4
				1B-1C	7.53×10^4	4.00×10^4	2.68×10^4	5.70×10^4	4.02×10^4	1.65×10^4
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	2.78×10^4	1.47×10^4	8.82×10^3	2.72×10^4	1.58×10^4	1.01×10^4
			水平材	1B-2B	4.03×10^4	2.04×10^4	1.26×10^4	3.32×10^4	1.60×10^4	9.71×10^3
				2B-2C	1.40×10^4	7.69×10^3	4.92×10^3	1.37×10^4	6.85×10^3	4.34×10^3
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	1.76×10^5	1.08×10^5	6.72×10^4	1.52×10^5	8.06×10^4	4.89×10^4
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	1.02×10^5	6.21×10^4	4.34×10^4	1.93×10^5	1.23×10^5	7.73×10^4
			水平材	1A-2A	1.11×10^5	6.69×10^4	4.25×10^4	1.48×10^5	8.22×10^4	5.16×10^4
6	厚膜エポキシ	有機ジンクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	5.43×10^4	3.30×10^4	2.13×10^4	1.64×10^5	8.79×10^4	5.15×10^4
			水平材	2A-3A	1.11×10^5	5.69×10^4	3.84×10^4	1.02×10^5	5.34×10^4	3.48×10^4
				1C-2C	6.89×10^4	3.02×10^4	1.46×10^4	8.48×10^4	3.83×10^4	1.91×10^4
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	1.32×10^5	6.60×10^4	3.92×10^4	1.98×10^5	9.55×10^4	4.84×10^4
			水平材	3A-3B	1.05×10^5	5.74×10^4	2.73×10^4	1.54×10^5	7.24×10^4	4.35×10^4
				2B-3B	6.31×10^4	3.61×10^4	1.71×10^4	1.22×10^5	5.11×10^4	2.55×10^4
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	2.06×10^4	1.32×10^4	9.07×10^3	5.17×10^4	3.09×10^4	2.13×10^4

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1 9 9 3 年					
					5			6		
					(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)	(0.2KHz)	(0.5KHz)	(1KHz)
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	3.85×10^4	1.68×10^4	9.44×10^4	1.77×10^4	8.29×10^4	4.80×10^4
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジシクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	7.76×10^4	4.16×10^4	2.65×10^4	2.86×10^4	1.81×10^4	1.26×10^4
			水平材	1A-1B	1.37×10^4	7.16×10^4	4.44×10^4	1.26×10^4	6.32×10^4	3.91×10^4
				1B-1C	5.07×10^4	2.73×10^4	1.74×10^4	7.87×10^4	3.66×10^4	2.27×10^4
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	1.44×10^4	9.34×10^4	5.62×10^4	2.98×10^4	1.61×10^4	9.98×10^4
			水平材	1B-2B	2.20×10^4	1.31×10^4	8.25×10^4	2.64×10^4	1.38×10^4	8.82×10^4
				2B-2C	1.44×10^4	8.02×10^4	5.84×10^4	1.59×10^4	9.15×10^4	5.92×10^4
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	1.66×10^4	9.22×10^4	5.86×10^4	3.96×10^4	3.17×10^4	2.33×10^4
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジシクリッチ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 μm × 3回)	直立材	1 A	1.29×10^4	8.85×10^4	5.44×10^4	1.91×10^4	1.04×10^4	6.30×10^4
			水平材	1A-2A	1.11×10^4	5.80×10^4	3.39×10^4	1.20×10^4	6.79×10^4	4.21×10^4
6	厚膜エポキシ	有機ジシクリッチ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	3.83×10^4	2.33×10^4	1.54×10^4	1.34×10^4	6.57×10^4	4.49×10^4
			水平材	2A-3A	1.20×10^4	6.57×10^4	4.14×10^4	1.03×10^4	5.66×10^4	3.58×10^4
				1C-2C	1.08×10^4	8.61×10^4	3.64×10^4	1.37×10^4	1.15×10^4	3.98×10^4
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	2.11×10^4	7.89×10^4	4.03×10^4	2.61×10^4	1.01×10^4	5.21×10^4
			水平材	3A-3B	1.57×10^4	5.87×10^4	1.95×10^4	1.20×10^4	5.59×10^4	3.24×10^4
				2B-3B	1.48×10^4	5.48×10^4	2.92×10^4	1.18×10^4	4.56×10^4	2.32×10^4
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	1.78×10^4	1.06×10^4	7.44×10^4	3.50×10^4	2.25×10^4	1.56×10^4

(研究テーマ 3)

表-6・50(1) 塗装部の膜厚測定結果

〔単位: μm 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1984年				1985年				1986年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	1100 1200 1100	950 700 800	850 750 1000	900 1100 900	900 1000 950	950 800 1000	900 800 900	1000 1050 1000	1000 900 900	900 1000 850	900 950 950	1100 1000 980
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジソクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	2100 2000 2000	2100 2200 2100	2100 1900 2000	2000 2000 2000	1900 2050 2000	2300 2250 2200	2000 2000 1900	1700 1800 1700	1900 2100 2200	1500 1900 1800	2200 2200 2100	2300 2400 2000
					2100 2200 2100	2300 2200 2300	2200 2100 2100	1900 1400 2000	1750 1600 1750	2100 2100 2400	2100 2100 1950	1700 1850 1600	1700 1700 1800	2100 2000 2100	2100 2100 2200	1600 1700 1700
					1750 1750 2000	1900 1550 1900	2000 2100 2000	2000 2100 2100	1700 1900 2000	1850 1850 1900	2200 2200 2000	1750 1800 1900	1700 2100 1900	1900 1700 1700	2000 2000 2100	1600 1700 1900
			水平材	1A-1B	2100 2200 2100	2300 2200 2300	2200 2100 2100	1900 1400 2000	1750 1600 1750	2100 2100 2400	2100 2100 1950	1700 1850 1600	1700 1700 1800	2100 2000 2100	2100 2100 2200	1600 1700 1700
					1750 1750 2000	1900 1550 1900	2000 2100 2000	2000 2100 2100	1700 1900 2000	1850 1850 1900	2200 2200 2000	1750 1800 1900	1700 2100 1900	1900 1700 1700	2000 2000 2100	1600 1700 1900
					1750 1750 2000	1900 1550 1900	2000 2100 2000	2000 2100 2100	1700 1900 2000	1850 1850 1900	2200 2200 2000	1750 1800 1900	1700 2100 1900	1900 1700 1700	2000 2000 2100	1600 1700 1900
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	2300 2000 1700	2400 2500 2700	1600 1600 1600	1700 1600 1700	1800 1800 1850	2200 2700 2800	1600 1600 2000	1550 1500 1600	1700 1600 1600	1900 1900 2100	1300 1350 1500	1300 1400 1400
					1750 1700 1750	1500 1450 1600	1950 2000 1900	1700 1750 1750	1750 1650 1800	2600 2400 2300	2250 2300 2400	1450 1500 1700	1500 1300 1400	1300 1350 1400	1500 1550 1600	1550 1400 1500
					1200 1200 1250	1300 1350 1400	1300 1800 1300	1400 1500 1600	1200 1250 1250	2400 2400 2550	1450 1400 1350	1450 1500 1500	1350 1350 1100	1300 1500 1400	1400 1450 1300	1300 1550 1450
			水平材	1B-2B	1750 1700 1750	1500 1450 1600	1950 2000 1900	1700 1750 1750	1750 1650 1800	2600 2400 2300	2250 2300 2400	1450 1500 1700	1500 1300 1400	1300 1350 1400	1500 1550 1600	1550 1400 1500
					1200 1200 1250	1300 1350 1400	1300 1800 1300	1400 1500 1600	1200 1250 1250	2400 2400 2550	1450 1400 1350	1450 1500 1500	1350 1350 1100	1300 1500 1400	1400 1450 1300	1300 1550 1450
					1200 1200 1250	1300 1350 1400	1300 1800 1300	1400 1500 1600	1200 1250 1250	2400 2400 2550	1450 1400 1350	1450 1500 1500	1350 1350 1100	1300 1500 1400	1400 1450 1300	1300 1550 1450
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	2400 2400 2200	2300 2300 2400	1800 2000 1600	2100 2200 2200	2000 1800 2000	1900 1900 2050	2000 2000 2050	2200 2300 2300	2300 2000 2100	2200 2200 2200	2000 2000 2100	2200 2400 2100

* 膜厚は 4カ所 3回測定した。

(研究テーマ 3)

表-6-50(2) 塗装部の膜厚測定結果

[単位: μm]

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1987年				1988年				1989年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	1100 930 1300	710 790 750	910 930 950	920 780 890	1100 1200 950	750 650 700	1050 850 850	850 850 850	1000 950 1000	800 700 700	850 900 850	800 850 1000
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機シンクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	1 B	1900 2000 1950	1900 2050 2050	2100 2250 2050	2250 2350 2100	1800 1800 1700	1750 1800 1800	1850 1900 1850	1900 2000 2050	1750 1800 1800	1850 1900 1900	1800 2000 2200	2200 1850 2000
					1950 1900 2000	2100 2150 2200	1950 2000 2050	1650 1650 1650	1600 1550 1600	1900 1800 1850	2000 2000 2000	1750 1900 1800	1500 1500 1600	1750 1750 1700	2000 2000 1900	1700 1650 1650
					1800 1950 2050	2100 2100 2000	1900 1900 2000	1600 1650 1600	1600 1650 1800	1900 1900 1800	1900 2000 2000	1900 1800 1850	1400 1550 1700	1900 1900 1800	1900 2000 2000	2000 1900 1850
			水平材	1A-1B	1950 1900 2000	2100 2150 2200	1950 2000 2050	1650 1650 1650	1600 1550 1600	1900 1800 1850	2000 2000 2000	1750 1900 1800	1500 1500 1600	1750 1750 1700	2000 2000 1900	1700 1650 1650
					1800 1950 2050	2100 2100 2000	1900 1900 2000	1600 1650 1600	1600 1650 1800	1900 1900 1800	1900 2000 2000	1900 1800 1850	1400 1550 1700	1900 1900 1800	1900 2000 2000	2000 1900 1850
					1800 1950 2050	2100 2100 2000	1900 1900 2000	1600 1650 1600	1600 1650 1800	1900 1900 1800	1900 2000 2000	1900 1800 1850	1400 1550 1700	1900 1900 1800	1900 2000 2000	2000 1900 1850
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り 1400 μm)	直立材	2 B	1850 1900 1850	2600 2650 2500	1500 1450 1500	1500 1600 1600	1750 1900 1900	2200 2500 2600	1500 1400 1100	1500 1450 1500	1850 1900 2000	2600 2600 2600	1500 1350 1300	1600 1500 1500
					1300 1400 1250	1250 1250 1200	1550 1650 1650	1800 1750 1750	1750 1700 1800	1500 1550 1550	1150 1100 1100	1250 1200 1250	1800 1700 1800	1500 1600 1600	1200 1200 1200	1300 1250 1300
					1350 1400 1350	1550 1600 1600	1300 1300 1450	1200 1200 1200	1300 1300 1250	1600 1600 1550	1300 1250 1550	1200 1150 1150	1300 1300 1300	1600 1600 1550	1300 1400 1600	1100 1150 1200
			水平材	1B-2B	1300 1400 1250	1250 1250 1200	1550 1650 1650	1800 1750 1750	1750 1700 1800	1500 1550 1550	1150 1100 1100	1250 1200 1250	1800 1700 1800	1500 1600 1600	1200 1200 1200	1300 1250 1300
					1350 1400 1350	1550 1600 1600	1300 1300 1450	1200 1200 1200	1300 1300 1250	1600 1600 1550	1300 1250 1550	1200 1150 1150	1300 1300 1300	1600 1600 1550	1300 1400 1600	1100 1150 1200
					1350 1400 1350	1550 1600 1600	1300 1300 1450	1200 1200 1200	1300 1300 1250	1600 1600 1550	1300 1250 1550	1200 1150 1150	1300 1300 1300	1600 1600 1550	1300 1400 1600	1100 1150 1200
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μm)	直立材	2 C	2000 2000 2300	2600 2400 2400	1850 1750 1750	2300 2150 2300	1900 2000 2100	2400 2300 2400	1850 1750 1750	2200 2150 2300	2300 2400 2500	2100 2100 2300	1900 1800 1800	2500 2400 2300

* 膜厚は 4 カ所 3 回測定した。

(研究テーマ 3)

表-6・50(3) 塗装部の膜厚測定結果

〔単位: μm 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1990年				1991年				1993年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μm) + GF入りビニルエステル(300 μm × 3回) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	1 C	1150 1000 1000	750 700 800	1100 900 850	1000 900 850	1130 1000 960	700 750 800	750 800 1050	960 820 850	1100 970 900	700 720 800	800 790 760	900 760 800
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ソノクリッチ(75 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り1400 μm)	直立材	1 B	1800 1900 1900	1900 2000 2200	1900 2000 2100	2300 2200 2100	1700 1800 1900	1850 1830 1790	2000 1950 2100	1950 2150 2000	1750 1800 1850	1800 1800 1900	1900 1900 2000	1950 2100 2000
			水平材	1A-1B	1700 1600 1700	1800 1900 2000	2200 2100 2100	1850 1900 1700	1550 1650 1700	1750 1820 1800	2200 2300 2250	1800 2000 1900	1600 1500 1600	1920 1760 1700	2050 2200 2170	1900 1830 1900
				1B-1C	1850 1650 1550	1900 2000 2100	2200 2100 2000	2200 2000 2000	1430 1550 1720	1850 1940 1960	2000 2000 2050	2200 2050 1950	1500 1400 1500	1900 1900 1850	2200 2200 2200	1950 2100 2200
				2 B	2000 2100 2200	2800 2700 2700	1600 1450 1450	1600 1700 1800	1900 2100 1850	2800 2750 2700	1450 1500 1400	1500 1700 1600	1900 2000 1800	2700 2800 2700	1500 1400 1450	1500 1600 1700
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μm) + GF入りポリエステル (3回塗り1400 μm)	水平材	1B-2B	2000 1900 1850	1750 1750 1700	1250 1250 1250	1350 1400 1350	1860 1780 1720	1620 1630 1620	1190 1180 1190	1280 1250 1280	1800 1850 1800	1600 1600 1600	1200 1200 1200	1270 1300 1220
				2B-2C	1300 1350 1400	1600 1600 1600	1400 1500 1750	1200 1150 1200	1350 1350 1350	1600 1650 1600	1650 1400 1300	1200 1150 1200	1350 1300 1300	1600 1580 1630	1550 1400 1600	1120 1150 1150
				2 C	2300 2300 2350	2300 2200 2200	1900 1900 1800	2200 2500 2500	2200 2400 2300	2600 2500 2450	1800 1800 1900	2600 2600 2550	2200 2300 2350	2600 2600 2420	1800 1850 1800	2600 2500 2500

*膜厚は 4カ所3回測定した。

(研究テーマ 3)

表-6-50(4) 塗装部の膜厚測定結果

〔単位: μm 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1984年				1985年				1986年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機シリカ(75 μm) + エポキシ系プライマー(30 μm) + GF入りエポキシ(500 $\mu\text{m} \times 3$ 回)	直立材	1 A	2300 2400 2100	2300 2300 2400	1500 1450 1500	2050 2000 1900	2500 2500 1850	1750 1800 1750	1500 1400 1500	1950 1900 2000	1600 2400 2400	1800 1600 1900	1700 1500 1700	1600 1800 1600
			水平材	1A-2A	1500 1450 1500	2100 2100 2100	2300 2400 2400	2000 2000 1500	2700 2600 2600	2300 2200 2350	1850 1700 1700	1700 1600 1650	2700 2500 2500	2200 2500 2500	1900 2000 2200	1900 1900 2000
6	厚膜エポキシ	有機シリカ(15 μm) + エポキシ(2000 μm)	直立材	3 A	3000 3600 3400	2100 2200 2200	3200 3000 3400	1700 1800 2300	3000 3000 2950	1900 1950 1800	2700 2700 2600	2750 2150 2000	3000 3200 3000	2400 3200 3000	2800 2400 3400	2200 2200 2000
			水平材	2A-3A	3000 2500 2400	2000 2400 2400	2800 3000 3400	2000 2300 2200	2750 2600 2400	2200 2500 2900	2400 2800 2400	1750 2550 2250	2800 3000 3300	2200 2300 2700	2200 3000 2500	2000 2400 2000
				1C-2C	2200 2300 2200	2000 1400 1400	1300 1500 1500	2000 1400 1800	2200 2350 2300	1300 1400 1900	1800 1600 2200	2600 3100 2450	2200 2400 2200	1400 1700 1500	2300 1950 2100	2500 2300 2250
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μm) + ポリウレタン(2000 μm) + ポリウレタン(30 μm)	直立材	3 B	1500 1400 1600	1800 1400 1400	2200 2100 2000	2600 2800 3000	2000 2200 2100	1900 1550 1700	2600 3100 3100	2750 2200 2250	2350 2450 2200	1800 1800 1900	2700 3200 2250	2600 2000 2500
			水平材	3A-3B	1500 1500 1400	2200 2400 2800	2000 1950 2000	2600 2500 2400	1150 1200 1250	2500 2700 2600	2150 2100 2050	2200 2350 2300	1400 900 1300	2600 2600 2650	2050 2300 2200	2450 2500 2450
				2B-3B	1200 1300 1100	2000 2000 2000	1500 1400 1400	2200 2100 2200	1200 1350 1400	2200 2100 2200	1750 1900 1800	1850 2000 1750	900 1450 1200	2000 2000 2200	1900 1800 1800	1950 2250 2200
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μm) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μm) + ポリウレタン(50 μm)	直立材	2 A	1750 1700 1850	1900 1900 1700	3800 3900 3600	1800 1800 2000	1450 1450 1400	1450 1700 1950	1900 2000 1800	1800 2000 2100	2000 2000 1800	2000 2000 2000	1700 2200 1800	1800 2100 1700

* 膜厚は 4 カ所 3 回測定した。

(研究テーマ 3)

表-6・50(5) 塗装部の膜厚測定結果

〔単位: μm 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1987年				1988年				1989年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機シリケート($75\mu\text{m}$) + エポキシ系プライマー($30\mu\text{m}$) + GF入りエポキシ($500\mu\text{m} \times 3$ 回)	直立材	1 A	2050	1800	1350	1800	2200	1700	1400	1700	1900	1700	1400	1650
					2200	1950	1400	1850	2100	1650	1500	1800	1750	1650	1500	1600
					1950	1800	1350	1850	1900	1800	1500	1650	1600	1700	1400	1650
			水平材	1A-2A	1700	2050	2500	1550	1550	2100	2750	1400	1400	1900	2500	1300
					1600	2100	2600	1550	1600	2200	2600	1400	1550	1900	2400	1350
					1600	2100	2500	1500	1650	2150	2600	1450	1600	1900	2400	1400
6	厚膜エポキシ	有機シリケート($15\mu\text{m}$) + エポキシ($2000\mu\text{m}$)	直立材	3 A	2350	4150	3100	2400	2600	4000	2700	2600	1900	4000	3000	2600
					2250	4200	2150	2500	1800	4100	2000	3000	2000	4000	2400	2900
					2250	4100	3000	2350	2000	4400	2400	2900	2200	4100	2700	3000
			水平材	2A-3A	2700	2050	2500	2450	2900	2000	2800	2400	2500	2100	2800	2800
					3300	2650	2700	2300	2200	1950	2400	2000	2200	2400	2300	1900
					2700	2150	2250	2600	2400	2300	2500	2300	3100	1700	2400	2100
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー($25\mu\text{m}$) + ポリウレタン($2000\mu\text{m}$) + ポリウレタン($30\mu\text{m}$)	直立材	3 B	1950	2000	2100	2700	1700	2100	2000	2400	1850	1700	2400	2600
					1850	2000	2150	2600	1800	1950	2000	2500	1900	1500	2200	2600
					1900	2100	2150	2650	1700	2000	2050	2600	1800	1500	2200	2700
			水平材	3A-3B	1050	2250	1900	2350	1050	2000	1900	2200	1200	2200	1900	2000
					1100	2300	1950	2350	1000	2200	1850	2100	1100	2100	1900	2100
					1100	2350	1900	2500	1100	2300	1900	2000	1050	2100	1900	2200
8	レジソルタル	エポキシ系プライマー($25\mu\text{m}$) + エポキシ系レジソルタル($2000\mu\text{m}$) + ポリウレタン($50\mu\text{m}$)	直立材	2 A	1600	1400	2250	1800	1400	1350	1750	1750	1500	1500	1800	2200
					1450	1600	1950	2300	1500	1300	1900	1800	1650	1350	1850	2000
					1500	1500	1900	1950	1350	1500	1900	2000	1750	1500	1900	2100

*膜厚は 4カ所3回測定した。

(研究テーマ 3)

表-6-50(6) 塗装部の膜厚測定結果

〔単位: μm 〕

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1990年				1991年				1993年			
					1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機シンクリッチ(75μm)+ エポキシ系プライマー(30μm)+ GF入りエポキシ(500μm×3回)	直立材	1 A	1500 1500 1600	1800 1900 1950	1500 1550 1400	1800 1900 1900	1450 1430 1600	1800 1700 1850	1250 1220 1100	1700 1800 1900	1500 1300 1400	1700 1800 1750	1500 1600 1600	1700 1700 1800
			水平材	1A-2A	1800 1600 1600	2150 2150 2000	2700 2700 2700	1250 1300 1300	1650 1600 1680	2000 2100 2000	2600 2600 2600	1400 1400 1400	1700 1550 1600	2000 1900 1950	2600 2500 2600	1400 1350 1300
6	厚膜エポキシ	有機シンクリッチ(15μm)+ エポキシ(2000μm)	直立材	3 A	2300 2100 2200	4300 4200 4500	3200 2700 2900	3200 2300 3200	2250 2050 2100	5000 4200 4700	3200 2700 2800	2550 3100 3350	2100 2200 2100	4600 4100 4600	2600 3200 2900	2300 3200 3000
			水平材	2A-3A	2400 2600 2900	2300 2000 2000	3000 3200 2800	1900 2200 2400	2300 2500 2430	1950 2050 2200	3500 2600 2350	2700 2550 1850	2400 2500 2500	2000 2100 2000	2600 3000 2700	1800 2100 1900
					1C-2C	2200 2200 2200	1200 1700 1200	1400 1700 1800	2300 2800 2900	2000 2100 2200	1800 1350 1150	1800 1700 1500	2800 2500 2900	1900 2000 2300	1600 1700 1300	1600 1800 1750
				直立材	3 B	1900 2000 2000	1550 1650 1700	2300 2400 2400	2900 3000 3000	2100 2100 2000	1950 2050 2100	2600 2600 2500	2850 2800 3000	2000 2100 2000	1500 1600 1500	2300 2400 2350
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25μm)+ ポリウレタン(2000μm)+ ポリウレタン(30μm)	水平材	3A-3B	1200 1250 1200	2400 2400 2400	2100 2200 2150	2400 2300 2400	1190 1130 1080	2300 2300 2350	2080 2050 2050	2450 2450 2350	1100 1150 1100	2200 2300 2400	2100 2000 2050	2400 2400 2400
					2B-3B	1200 1250 1200	2200 2100 2150	1900 1700 1900	1900 1900 1900	1140 1170 1230	2100 2100 2100	1800 1800 1800	1850 1830 1830	1150 1150 1150	2000 2000 2000	1750 1750 1750
				直立材	2 A	1600 1600 1600	1600 1400 1650	1900 1900 2000	2100 2200 2400	1300 1400 1550	1500 1600 1550	1900 1950 1950	2200 2000 2300	1500 1450 1500	1600 1400 1650	1950 2000 2000

* 膜厚は 4カ所 3回測定した。

系 No.	防食系	防食仕様	施工 部材	施工 位置	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年	1990年	1991年	1993年
1	ガラスフレーク 入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m)+ GF入りビニルエステル(300 μ m $\times$ 3回)+ポリウレタン(30 μ m)	直立材	1 C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
2	ガラスフレーク 入り ポリエステル	有機ジシクリッチ(75 μ m)+ GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	1 B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			水平材	1A-1B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	1カ所	4カ所
				1B-1C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
3	ガラスフレーク 入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μ m)+ GF入りポリエステル (3回塗り1400 μ m)	直立材	2 B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			水平材	1B-2B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	3カ所
				2B-2C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
4	ガラスフレーク 入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	直立材	2 C	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
5	ガラスフレーク 入り エポキシ	無機ジシクリッチ(75 μ m)+ エポキシ系プライマー(30 μ m)+ GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)	直立材	1 A	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	1カ所
			水平材	1A-2A	なし	なし	なし	なし	なし	1カ所	1カ所	5カ所	8カ所
6	厚膜エポキシ	有機ジシクリッチ(15 μ m)+ エポキシ(2000 μ m)	直立材	3 A	なし	なし	なし	なし	なし	なし	2カ所	6カ所	6カ所
			水平材	2A-3A	なし	なし	なし	2カ所	6カ所	35カ所	30数カ所	60-70カ所	60-70カ所
				1C-2C	なし	1カ所	1カ所	1カ所	6カ所	34カ所	30数カ所	60-70カ所	60-70カ所
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m)+ ポリウレタン(2000 μ m)+ ポリウレタン(30 μ m)	直立材	3 B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
			水平材	3A-3B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
				2B-3B	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	1カ所	1カ所
8	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m)+ エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m)+ ポリウレタン(50 μ m)	直立材	2 A	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし

6.4.4 付着力および素地面の状況

定期詳細調査として施設本体の塗装系試験材に付着力試験と塗膜剥離による素地面観察を実施した。

付着力試験は、アドヒージョンテスターで行った。所定位置の塗膜を大きな凹凸のないように平滑化し、調色用上塗りは除去して、ドーリーをエポキシ系接着剤で貼り付けた。周囲は素地面に達するまでカットして測定した。測定は繰り返し3回とした。各測定位置はすでに図-4・10に示した。

結果を表-6・52に示した。2年5ヵ月経過後および5年5ヵ月経過後の測定結果を表-6・53～6・54に示した。

今回の測定値の平均は、 $31 \sim > 130 \text{ kgf/cm}^2$ であり、2年5ヵ月、5年5ヵ月経過後の $21 \sim 53 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $35 \sim > 62 \text{ kgf/cm}^2$ と比較しても付着力の低下はなかった。個々の系の結果についても、付着力は健全な状態にあると考えられた。

素地面観察は、付着力試験測定箇所の近傍において、塗膜の $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ を工具で剥離して、素地面の状態を観察した。

その結果、観察を行ったすべての試験材の素地面に異状は認められず、良好な状態と考えられた。

以上の付着力試験と素地面観察の実施箇所は、各防食系のメーカーが補修を行った。

表-6-52 塗装部の付着力試験結果 (1993年度)

(研究テーマ 3)

系 No.	防 食	防 食 仕 様	施 工 部 材	施 工 位 置	付 着 力 (kgf/cm ²)		塗 膜 剝 離 状 況
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m) + GF入りビニルエステル(300 μ m $\times$ 3) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 直立材 側面	1C	75 65 60	67	接着剤凝集破壊 100% 接着剤/上塗の界面 100% 接着剤/上塗の界面 100%
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ソノクリッチ(75 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-1B	65 38 >70	>58	下塗/下塗の層間 100% 下塗/下塗の層間 100% 下塗/下塗の層間 100%
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1B-2B	—	—	—
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	2B-1B- 1C-2Cに囲 まれた H型鋼上	>150 90 >150	>130	測定目盛りオーバー 接着剤/上塗の界面 100% 測定目盛りオーバー
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機ソノクリッチ(75 μ m) + エポキシ系プライマー(30 μ m) + GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	40 17 38	32	無機ジンク凝集破壊 90% 上塗凝集破壊 10% 無機ジンク凝集破壊 100% 無機ジンク凝集破壊 60% プライマー凝集破壊 40%
6	厚膜エポキシ	有機ソノクリッチ(15 μ m) + エポキシ(2000 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	2A-3A	58 — 47	53	上塗凝集破壊 10% 接着剤/上塗の界面 — 上塗凝集破壊 5% 接着剤/上塗の界面
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m) + ポリウレタン(2000 μ m) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	3A-3B	15 35 42	31	プライマー/中塗の層間 100% ドーリー/接着剤の界面 100% プライマー/中塗の層間 100%
8-1	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m) + ポリウレタン(50 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	—	—	—

表-6-53 塗装部の付着力試験結果 (1986年度)

(研究テーマ 3)

系 No.	防食	防食仕様	施工 部材	施工位置	付着力 (kgf/cm ²)		塗膜剝離状況
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m) + GF入りビニルエステル(300 μ m $\times$ 3) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 直立材 側面	1C	20 43 35	33	上塗/上塗の層間 100% 上塗/上塗の層間 50% 接着剤/ド-リ-の界面 50% 上塗/上塗の層間 90% 接着剤/ド-リ-の界面 10%
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ジシクリッチ(75 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り 1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-1B	35 20 15	23	中塗/中塗の層間 100% 中塗/中塗の層間 60% 接着剤/ド-リ-の界面 40% 中塗/中塗の層間 100%
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り 1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1B-2B	37 44 47	43	中塗凝集破壊 100% 中塗凝集破壊 100% 接着剤/塗膜の界面 100%
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	2B-1B- 1C-2Cに囲 まれた H型鋼上	40 > 70 50	> 53	接着剤/塗膜の界面 100% 測定目盛りオーバー 接着剤/塗膜の界面 50% 接着剤/ド-リ-の界面 50%
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機ジシクリッチ(75 μ m) + エポキシ系プライマー(30 μ m) + GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	22 25 15	21	無機ジシクリッチ/塗膜の界面 100% 無機ジシクリッチ/塗膜の界面 100% 無機ジシクリッチ/塗膜の界面 100%
6	厚膜エポキシ	有機ジシクリッチ(15 μ m) + エポキシ(2000 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	2A-3A	45 35 35	38	上塗膜凝集破壊 60% 接着剤/塗膜の界面 40% 上塗膜凝集破壊 60% 接着剤/塗膜の界面 40% 上塗膜凝集破壊 75% 接着剤/塗膜の界面 25%
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m) + ポリウレタン(2000 μ m) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	3A-3B	30 30 27	29	プライマー/中塗の層間 100% プライマー/中塗の層間 100% プライマー/中塗の層間 100%
8-1	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m) + ポリウレタン(50 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	—	—	—

表-6-54 塗装部の付着力試験結果 (1989年度)

(研究テーマ 3)

系 No.	防 食	防 食 仕 様	施 工 部 材	施 工 位 置	付 着 力 (kgf/cm ²)		塗 膜 剝 離 状 況
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル	ビニルエステル系プライマー(30 μ m) + GF入りビニルエステル(300 μ m $\times$ 3) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 直立材 側面	1 C	40 55 > 70	> 55	接着剤/塗膜の界面 70% 接着剤/ド-リ-の界面 30% 接着剤/塗膜の界面 90% 接着剤/ド-リ-の界面 10% 測定目盛りオーバー
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ソックリッチ(75 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り 1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-1B	> 70 50 65	> 62	測定目盛りオーバー 中塗/中塗の層間 100% 中塗/中塗の層間 100%
3	ガラスフレーク入り ポリエステル	ポリエステル系プライマー(60 μ m) + GF入りポリエステル + (3回塗り 1400 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1B-2B	54 25 28	36	中塗凝集破壊 90%、接着剤/ド-リ-の界面 10% 中塗凝集破壊 100% 中塗凝集破壊 100%
4	ガラスフレーク入り エポキシ	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	飛沫帯 水平材 側面	2 C	35 62 45	47	接着剤/塗膜の界面 100% 接着剤/塗膜の界面 80% 接着剤/ド-リ-の界面 20% 接着剤/塗膜の界面 90% 接着剤/ド-リ-の界面 10%
5	ガラスフレーク入り エポキシ	無機ソックリッチ(75 μ m) + エポキシ系プライマー(30 μ m) + GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	35 37 33	35	無機ジंक塗膜凝集破壊 100% 無機ジंक塗膜凝集破壊 100% 無機ジंक塗膜凝集破壊 100%
6	厚膜エポキシ	有機ソックリッチ(15 μ m) + エポキシ(2000 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	2A-3A	40 40 25	35	接着剤/塗膜の界面 100% 上塗膜凝集破壊 70%、接着剤/塗膜の界面 30% 接着剤/塗膜の界面 100%
7	厚膜ウレタン	ポリウレタン系プライマー(25 μ m) + ポリウレタン(2000 μ m) + ポリウレタン(30 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	3A-3B	42 45 34	40	プライマー/中塗の層間 100% プライマー/中塗の層間 100% プライマー/中塗の層間 100%
8-1	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル(2000 μ m) + ポリウレタン(50 μ m)	飛沫帯 水平材 上面	1A-2A	15 15 10	13	中塗膜凝集破壊 100% 中塗膜凝集破壊 100% 接着剤/上塗膜 70%、上塗膜凝集破壊 30%

6.4.5 新規取付（1990年度：C-2～C-7）試験材の調査

膜厚、ピンホールおよび交流抵抗については、試験材取付架台の内側面を対象とした。膜厚と、5 cm × 5 cmのアルミニウム箔電極をはりつけて測定する交流抵抗は、上端部より下方50 cmの位置で行い、ピンホールの測定は、上端部から下方50 cmまでの範囲について行った。光沢度と色差は、試験材の上部で4方向について測定した。測定結果はこれまでのものと比較して示した。

(1) 外観観察

試験材の外観観察を目視により行った。観察票は研究テーマ1と同じ方法で記入し巻末に添付した。また外観観察結果を表-6・55に示した。

3年経過後の試験材については、ほとんど異状は認められなかった。

(2) 色見本との比較

1993年度は、試験材取付架台付近から流れてたさび汁を5%シュウ酸水溶液を含ませたガーゼで拭き取り、その前および拭き取り後色見本と同時に写真撮影した。

(3) 膜厚、ピンホール測定結果

測定結果を表-6・53に示した。

膜厚、ピンホール測定とも異状は認められなかった。

(4) 交流抵抗測定結果

C-3を除く交流抵抗測定結果を表-6・53に示した。

いずれの試験材も高い交流抵抗を示した。

(5) 色差

(2)で記述したように5%シュウ酸水溶液を使い、さび汁を落とす前後の色差と光沢の測定を行った。その結果を表-6・56に示した。なお予め5%シュウ酸水溶液の使用が色差、光沢に影響しないことを標準板で確認した。

図-6・23、6・24に色差と光沢度の測定位置、部位を示した。

ここでLは塗装面の明度を表し数値が大きいほど明るいことを示す。aは+が赤、-が緑の領域を表し、bは+が黄、-が青の領域を表している。また表中のΔEは次式で表わされ、控え標準との色差を示している。

$$\Delta E = \{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2\}^{1/2}$$

(ΔL、Δa、Δbは控え標準板のL、a、bとの差を示す。)

(6) 光沢度

測定結果を表-6・57に示し、初期値との比較を図-6・25に示した。

3年経過後のさび汁を除去した光沢度は、C-2とC-4が33、30と大きく、その他の試験材は10以下であった。

表-6・55(1) 新規取付試験材の各種測定結果

(研究テーマ 3)

取付：1990年度

(1993年度)

No.	防食仕様	外 観	膜厚 (μm)	ピンホール	交 流 抵 抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		
					0.2kHz	0.5kHz	1kHz
C-2	ポリウレタン (黒) + 着色ふっ素 (淡青)	異状なし	3400 3400 3400	なし	3.52×10^9	2.12×10^9	1.41×10^9
C-3	着色ポリエチレン (淡緑)	北側に小さなあて傷 ($1 \times 1 \sim 2 \times 2 \text{ mm}$)、その他異状なし	2400 2500 2400	なし	—	—	—
C-4	ポリウレタン (黒) + 着色アクリルウレタン (濃緑)	異状なし	4600 4500 4500	なし	1.07×10^{10}	5.23×10^9	2.97×10^9
C-5	着色ポリウレタン (緑)	異状なし	3800 3800 3900	なし	3.58×10^9	1.73×10^9	1.04×10^9
C-6	着色ポリウレタン (黒)	異状なし	3200 3300 3300	なし	4.64×10^9	2.29×10^9	1.37×10^9
C-7	水中硬化型アクリル系 (下塗：中塗：) + 着色ふっ素・シリコン共重合 (灰色)	異状なし	2900 2800 2600	なし	6.61×10^9	3.24×10^9	1.91×10^9

表-6・55(2) 新規取付試験材の各種測定結果

(研究テーマ 3)

取付：1990年度

(1991年度)

No.	防食仕様	外観	膜厚 (μm)	ピンホール	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		
					0.2kHz	0.5kHz	1kHz
C-2	ポリウレタン (黒) + 着色ふっ素 (淡青)	異状なし	3500 3500 3500	なし	1.04×10^9	6.78×10^8	4.73×10^8
C-3	着色ポリエチレン (淡緑)	北側に小さなあて傷 ($1 \times 1 \sim 2 \times 2 \text{mm}$)、その他異状なし	2800 2800 2700	なし	—	—	—
C-4	ポリウレタン (黒) + 着色アクリルウレタン (濃緑)	異状なし	4800 4800 4900	なし	1.45×10^{10}	5.68×10^9	4.80×10^9
C-5	着色ポリウレタン (緑)	異状なし	4200 4200 4300	なし	1.18×10^9	5.98×10^8	3.88×10^8
C-6	着色ポリウレタン (黒)	異状なし	3500 3400 3550	なし	2.17×10^9	1.20×10^9	7.50×10^8
C-7	水中硬化型アクリル系 (下塗：中塗：) + 着色ふっ素・シリコン共重合 (灰色)	異状なし	2700 2950 3100	なし	2.47×10^9	1.20×10^9	7.73×10^8

表-6-55(3) 新規取付試験材の各種測定結果

(研究テーマ 3)

取付: 1990年度

(1992年度)

No.	防食仕様	外 観	膜厚 (μm)	ピンホール	交 流 抵 抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		
					0.2kHz	0.5kHz	1kHz
C-2	ポリウレタン (黒) + 着色ふっ素 (淡青)	異状なし	3500 3500 3400	なし	1.80×10^9	1.02×10^9	7.16×10^8
C-3	着色ポリエチレン (淡緑)	北側に小さなあて傷 ($1 \times 1 \sim 2 \times 2 \text{ mm}$)、その他異状なし	2400 2400 2500	なし	—	—	—
C-4	ポリウレタン (黒) + 着色アクリルウレタン (濃緑)	異状なし	4900 4700 4800	なし	9.34×10^8	5.03×10^8	3.63×10^8
C-5	着色ポリウレタン (緑)	異状なし	4000 3900 3900	なし	2.35×10^9	1.29×10^9	9.25×10^8
C-6	着色ポリウレタン (黒)	異状なし	3000 2800 2800	なし	3.71×10^9	1.86×10^9	1.26×10^9
C-7	水中硬化型アクリル系 (下塗: 中塗:) + 着色ふっ素・シリコン共重合 (灰色)	異状なし	3200 3400 3350	なし	3.24×10^9	1.99×10^9	1.28×10^9

試験片の方向

No	方位 方 向			
	I	II	III	IV
C-1	南	西	北	東
C-2	西	北	東	南
C-3	西	北	東	南
C-4	西	北	東	南
C-5	東	南	西	北
C-6	東	南	西	北
C-7	東	南	西	北

試験片取り付け位置

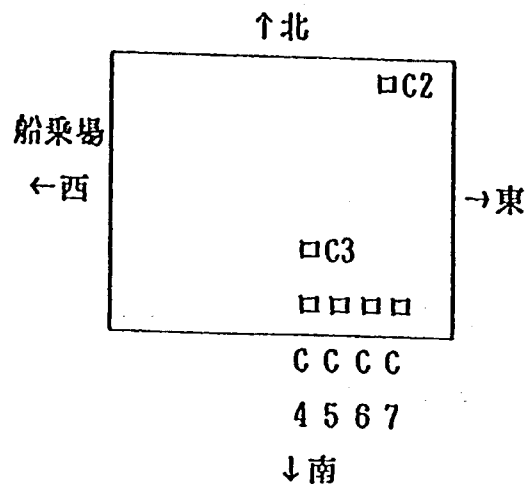


図-6・23 光沢度と色差の測定位置

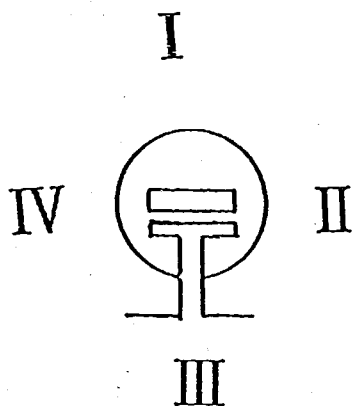


図-6・24 測定部位

表-6・56 色差測定結果

(研究テーマ 3)

取付: 1990年度

No	色 差	3年後 酸洗前 ('93.11.19)						3年後 酸洗後 ('93.11.19)				
		控え板	測 定 部 位					測 定 部 位				
			I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	平 均	I	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	平 均
C-2	L	49.99	42.65	38.26	50.02	34.61	41.39	52.93	50.94	49.42	38.10	47.85
	a	-2.49	-10.49	-1.61	-10.94	0.91	-5.53	-10.64	-4.39	-8.97	-2.88	-6.72
	b	-43.78	5.15	12.59	-9.97	19.63	6.85	-20.44	-37.01	3.05	11.91	-10.62
	Δ E		50.12	57.58	34.85	65.34	51.45	24.90	7.10	47.28	56.95	33.49
C-3	L		64.64	54.45	53.95	51.20	56.06	66.42	65.00	56.79	64.01	63.06
	a		-30.59	-13.46	-16.29	-11.13	-17.87	-34.30	-27.97	-22.12	-25.60	-27.50
	b		25.43	34.46	30.26	34.17	31.08	23.93	24.21	28.59	30.10	26.71
	Δ E											
C-4	L	38.55	39.42	41.75	42.25	38.55	40.49	41.15	43.33	39.26	42.92	41.67
	a	-20.64	-27.16	-18.59	-19.51	-19.15	-21.10	-25.86	-22.59	-26.78	-19.62	-23.71
	b	9.07	17.71	14.02	10.06	17.72	14.88	15.93	14.58	17.43	12.85	15.20
	Δ E		10.86	6.24	3.99	8.78	6.14	9.00	7.55	10.40	5.87	7.53
C-5	L	48.95	49.43	48.17	48.65	46.17	48.11	51.30	51.78	50.88	49.89	50.96
	a	-39.79	-34.05	-32.69	-32.35	-24.78	-30.97	-32.20	-30.78	-30.48	-32.39	-31.46
	b	9.48	10.68	12.16	10.21	14.61	11.92	12.05	12.36	11.76	12.28	12.11
	Δ E		5.88	7.63	7.48	16.10	9.19	8.35	9.87	9.78	7.97	8.96
C-6	L	26.44	26.39	21.79	24.72	25.66	24.64	36.13	29.49	30.62	32.81	32.26
	a	0.12	-0.68	3.59	-0.72	-0.90	0.32	-0.95	-1.04	-1.06	-0.95	-1.00
	b	-2.53	-0.62	6.06	-0.58	0.13	1.25	-1.20	-0.92	-0.95	-0.99	-1.01
	Δ E		2.07	10.37	2.73	2.95	4.19	9.84	3.64	4.62	6.64	6.12
C-7	L	68.17	63.21	40.56	65.74	54.78	56.07	75.23	57.93	61.99	70.26	66.35
	a	-1.17	4.54	17.81	2.33	8.61	8.32	-1.42	6.67	4.18	-1.17	2.07
	b	-3.07	29.20	25.05	25.31	32.17	27.93	-1.55	25.31	27.26	15.80	16.71
	Δ E		33.14	43.74	28.70	38.95	34.61	7.23	31.17	31.41	18.99	20.12

No.	初期 ('90.7.31)					1年 ('91.7.30)					2年 ('92.7.24)										3年 ('93.11.19)									
	測定部位					測定部位					洗い前					洗い後					洗い前					洗い後				
	I	II	III	IV	平均	I	II	III	IV	平均	I	II	III	IV	平均	I	II	III	IV	平均	I	II	III	IV	平均	I	II	III	IV	平均
C-2	59	55	62	59	59	42	47	45	14	37	6	3	4	6	5	26	48	43	36	38	6	19	21	18	16	22	28	48	33	33
C-3	7	5	6	6	6	3	6	10	8	7	15	6	6	9	9	23	10	7	16	14	6	4	4	3	4	6	8	6	5	6
C-4	73	61	59	55	62	54	35	44	39	43	27	28	21	36	28	34	27	39	34	34	19	22	22	34	24	39	26	25	30	30
C-5	69	11	27	53	40	10	2	8	24	11	4	6	4	3	4	3	2	1	8	4	4	2	2	2	3	3	2	3	3	3
C-6	46	14	17	43	30	1	1	6	1	2	1	2	2	1	2	1	3	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
C-7	20	22	25	18	21	23	15	11	27	19	14	8	15	18	14	13	20	17	17	17	3	1	5	6	4	4	5	5	12	7

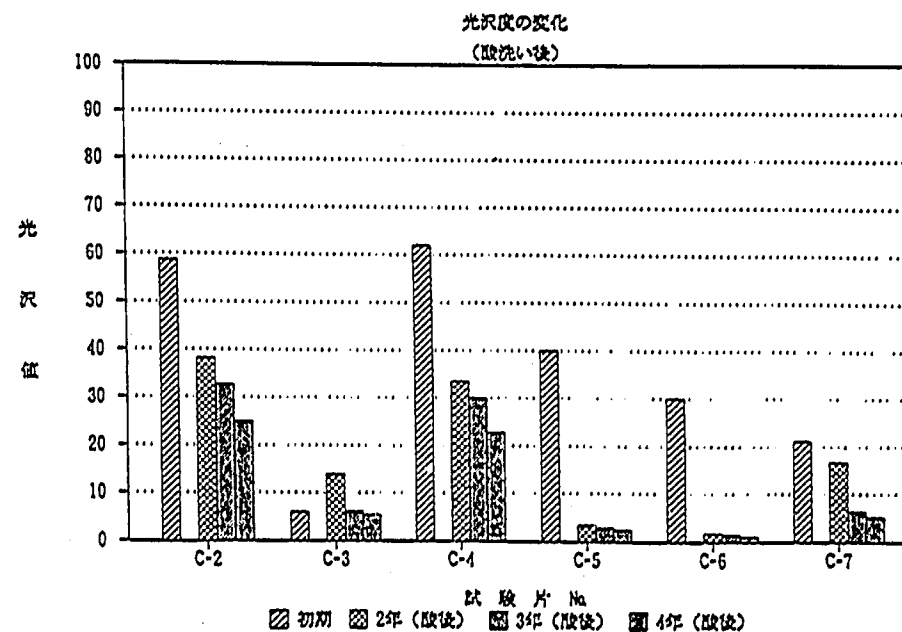
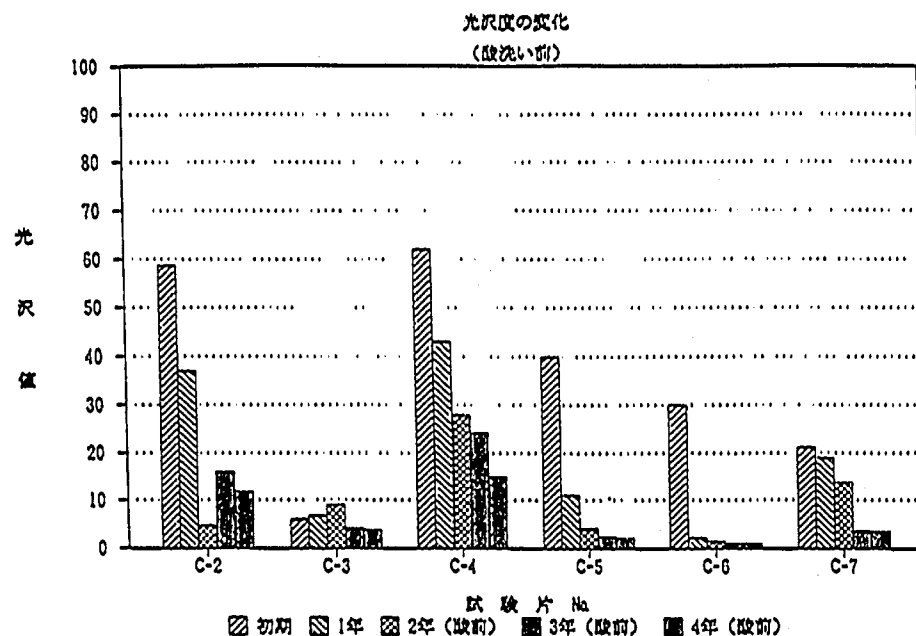


図-6・25 C-2～C-7の初期値からの光沢度の変化

6.4.6 1993年度新規取付試験材調査

1993年度に新たに取付けた試験材について、現地にて初期の測定を実施した。E-1～E-3およびE-5のポリエチレン樹脂被覆材については膜厚のみ、G-1～G-4の塗装材には膜厚および交流抵抗を測定した。膜厚と交流抵抗は6.4.5の1990年度新規取付試験材と同様に上端部より下方へ50cmの位置で測定した。測定結果を表-6・58に示した。

表-6・58(1) 新規取付試験材の各種測定結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

取付: 1993年度

No.	防 食 仕 様	膜厚 (μm)	交 流 抵 抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		
			0.2kHz	0.5kHz	1kHz
D-1	O Z P ($20\mu\text{m} \times 1$) + エポキシ樹脂系下塗塗料 ($140\mu\text{m} \times 1$) + エポキシ樹脂系中塗塗料 ($80\mu\text{m} \times 1$) + エポキシ樹脂系上塗塗料 ($80\mu\text{m} \times 1$)	3 8 0	8.82×10^8	4.84×10^8	3.10×10^8
		3 8 0			
		3 9 0			
D-2	I Z P ($20\mu\text{m} \times 1$) + タールエポキシ樹脂塗料 ($70\mu\text{m} \times 2$) + タールエポキシ樹脂塗料 ($80\mu\text{m} \times 1$) + タールエポキシ樹脂塗料 ($80\mu\text{m} \times 1$)	3 2 0	1.24×10^8	6.98×10^7	4.38×10^7
		3 2 0			
		3 5 0			
F-1	O Z P ($20\mu\text{m}$) + エポキシ ($1000\mu\text{m} \times 2$)	2 4 0 0	1.64×10^9	8.41×10^8	4.88×10^8
		2 4 0 0			
		2 4 0 0			
F-2	O Z P ($20\mu\text{m}$) + エポキシ ($1250\mu\text{m} \times 2$)	2 4 0 0	9.51×10^8	6.02×10^8	3.97×10^8
		2 2 0 0			
		2 3 0 0			
F-3	プライマー ($70\mu\text{m}$) + アクリル ($1500+1000\mu\text{m}$) + アクリル ($50\mu\text{m}$)	2 4 0 0	7.85×10^8	3.41×10^8	1.97×10^8
		2 4 0 0			
		2 4 0 0			
F-4	プライマー ($30\mu\text{m}$) + ポリウレタン ($2500\mu\text{m}$)	3 6 0 0	4.59×10^8	2.13×10^8	1.27×10^8
		3 7 0 0			
		3 7 0 0			
F-5	O Z P ($20\mu\text{m}$) + エポキシ ($1000\mu\text{m}$)		4.88×10^8	4.57×10^8	2.96×10^8
					
	各1/3周	1 2 0 0			
	シリコン用中塗 ($30\mu\text{m}$) + シリコン用上塗 ($25\mu\text{m}$)	1 3 0 0			
	ふっ素用中塗 ($30\mu\text{m}$) + ふっ素用上塗 ($25\mu\text{m}$)	1 2 0 0			
	ポリウレタン用中塗 ($35\mu\text{m}$) + ポリウレタン用上塗 ($35\mu\text{m}$)				

注) F-5 は、上端部より65cmの部位を測定

表-6・58(2) 新規取付試験材の各種測定結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

取付：1993年度

No	防 食 仕 様	膜 厚 (μm)
E-1	ポリエチレン樹脂被覆 (グレイッシュ イエローグリーン)	3 3 0 0 3 3 0 0 3 2 0 0
E-2	ポリエチレン樹脂被覆 (グレイッシュ イエローグリーン)	3 3 0 0 3 3 0 0 3 4 0 0
E-3	ポリエチレン樹脂被覆 (グレイッシュ グリーン)	2 9 0 0 2 8 0 0 2 8 0 0
E-5	ポリエチレン樹脂被覆 (石積調)	2 1 0 0 2 1 0 0 2 1 0 0

表-6-58(3) 新規取付試験材の各種測定結果 (研究テーマ 3)

(1993年度)

取付：1993年度

No.	防 食 仕 様	膜厚 (μm)	交 流 抵 抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)		
			0.2kHz	0.5kHz	1kHz
G-1	○ZP ($20\mu\text{m}$) + エポキシ ($1000\mu\text{m} \times 2$) ※塗に残し有り	2 4 0 0	2.08×10^5	1.12×10^5	6.82×10^4
		2 3 5 0			
	水中硬化型エポキシ樹脂塗料 ($5000\mu\text{m}$)	2 3 5 0			
G-2	○ZP ($20\mu\text{m}$) + ※塗に残し有り		1.92×10^5	9.08×10^4	5.36×10^4
	GF入り着色ビニルエステル ($350\mu\text{m} \times 2$)	7 5 0			
		7 5 0			
G-3	変成エポキシ ($50\mu\text{m}$) +	8 0 0	2.16×10^5	2.02×10^5	1.91×10^5
	GF入り着色ビニルエステル ($350\mu\text{m} \times 2$)				
					
G-4	タールエポキシ ($70\mu\text{m}$) + タールエポキシ ($70\mu\text{m}$)	1 6 0	1.59×10^5	7.46×10^4	4.39×10^4
		1 6 5			
	プライマー ($200\mu\text{m}$) + アクリル ($150\mu\text{m}$)	1 7 0			
G-4	+ アクリル ($1000\mu\text{m}$)		1.59×10^5	7.46×10^4	4.39×10^4
					
	I Z P ($75\mu\text{m}$) + プライマー ($30\mu\text{m}$) ※損傷付き	7 5 0			
G-4	+ G F 入りエポキシ ($500\mu\text{m} \times 3$)	8 0 0	1.59×10^5	7.46×10^4	4.39×10^4
		8 0 0			
	①無溶剤型エポキシ樹脂塗料 ($400 \sim 500\mu\text{m}$)	8 0 0			
G-4	②防食シート ($500 \sim 600\mu\text{m}$)				
					

6.4.7 被覆材の打診調査

ペトラタムペーストに防食テープその他を重ねて防食材層とし、それらの上をプラスチック系保護カバーを覆う被覆防食系の中で、FRPカバー流失があった。

Na11を除いたNa9-1およびNa12については表面からプラスチックハンマーによる打診調査を実施した。その結果はいずれも異状は認められず正常な被覆状態と推定された。

6.4.8 まとめ

1984年3月に開始した研究テーマ3「新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性」に関する試験は、1993年7月調査時で9年5ヵ月を経過した。本年度の調査結果を要約すると、次のとおりである。

- (1) 塗装系は外観観察において、全般的に良好であったがNa8の系では1年5ヵ月経過後から飛沫帯の塗膜に層間剝離を生じ、8年5ヵ月経過後には一部赤錆を呈していた。Na2の系の一部では4年5ヵ月経過後に剝離が生じていた。
- (2) 塗装系の膜厚、交流抵抗値に著しい変化はなかった。
- (3) Na6では、5年5ヵ月経過後より多数のピンホールが認められた。
- (4) 塗膜の付着力試験では、全般的に前回（5年5ヵ月経過後）よりの測定値の低下は認められなかった。
- (5) 塗膜の素地観察では、いずれの防食系も異状なかった。
- (6) 防食材+保護カバー系では、Na11の1ヵ所でFRPカバーが流失していた。その他は、一部に台風等による流木の衝突が原因と考えられる表層のクラックがみられる程度で、全般的には良好であった。
- (7) 1990年7月に取付を行ない3年経過したC-2～C-7の試験材は、各種測定においても初期の状態から大きな変化はなく異状はなかった。
- (8) 海中部の塗覆装の下端部には異状がなかった。

7. 総括

本研究は駿河湾の大井川町沖に設置された海洋試験施設において実施されたもので、海上大気部、飛沫帯、干満帯および海中部に暴露された鋼材を主とする各種金属材料の腐食調査、および各種塗覆装の耐久性とその防食効果の評価などを目的とした調査である。

研究は1984年3月に開始され、1993年に10年目を迎えた。共同研究第一分科会では9年5ヵ月経過の時点で現場調査を実施したが、その結果および10年間に得られた成果を要約すると次のとおりである。

7.1 試験内容の経過

試験は次に示す研究テーマ3件に沿って実施された。

- ・研究テーマ1 「高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト防食技術の確立」
- ・研究テーマ2 「低合金系耐海水鋼材の実使用における優位性の確認検討」
- ・研究テーマ3 「新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性」

すなわち、研究目的として金属材料系では、高耐食性金属の使用が期待寿命内でメンテナンスフリー化およびトータルコスト低減化が可能かどうかを探ることとし、耐海水鋼のような実用的低合金鋼が裸仕様、塗装併用、電防併用などで耐久性やトータルコストで有利かどうかを確認することとした。また、新しい塗覆装防食仕様の供試は実海域使用での有用性、耐久性の評価を目的とした。

試験は当初第1次試験材として、金属材料系54本および塗覆装系42箇所の暴露で開始したが、当初策定した長期計画に基づいて定期的に一般調査または詳細調査を実施した。その各年度ごとの調査結果および詳細調査年の中間的総括を参考に計画の見直しや追加の検討を行ない、当初計画に沿いながらも一部計画変更を加えつつ現場における一時撤去観察、回収調査、追加供試などを実施した。

その間、例年の調査結果に異状が認められた場合は、主として試験材提供者が独自に詳細調査を実施して、原因究明あるいは対策などを検討して報告書にまとめた。

試験材の種類はすでに表-5・1～表-5・3に示し、それらの設置と回収の経過は表-5・4～表-5・5に示した。表-7・1には主な調査項目および試験材暴露開始状況を示した。

なお、第2次試験材を用いた各試験の目的は大要下記のとおりである。

(1) ステンレス鋼の電気防食

ステンレス鋼はすべての供試試験材が、主として干満帯および海中部において数年のうちに人工隙間付与部および付着生物下で隙間腐食を発生し、試験材によっては3.5年で被覆厚さ3mmを貫通した。この隙間腐食防止対策として実用的なSUS316L鋼に対して電気防食を適用した結果、十分な効果が立証されたので、引き続き第2回目として2年間の電位設定試験を継続して防食条件を求めた。さらに低コスト性の検討を加味してより耐隙間腐食性の劣るSUS304鋼に対する電気防食試験も追加している。

(2) 長期耐用に応える複合防食技術

本研究では各研究テーマにみられる緊急かつ必須の課題に応えるべく、研究開始以後にも開発・改良された防食材料および工法を供試している。

金属材料系では電気防食を付加することなく、隙間腐食発生を軽減あるいは抑止できるかどうかの確認を目的とした耐海水ステンレス鋼の供試、メンテナンスフリーおよび長期耐用寿命の検証を目的としたチタンクラッド鋼+塗装+電防、ならびに耐海水鋼+塗装+電防の各仕様などがある。

塗覆装材料系では第1次試験材の一部が台風による損傷を生じたが、全体的には良好な状態を維持している。第2次試験材では、より厚膜の耐久性のよい重防食塗装系が追加された。さらに最近のニーズに応えるべく重防食仕様に高耐候性を加味した塗装系、あるいは景観要素を取り込んだカラーポリエチレン、模様ポリエチレンなどの樹脂被覆も加えられた。この他、苛酷な海洋環境における暴露に予想される損傷や劣化に対して補修塗装仕様を確立すべく数種類の補修材料の供試と施工作業が予定されている。

表-7.1 主な調査項目および供試材の経過

年 度	経過(年)	調 査 ○一般 ◎詳細	研究テーマ1	研究テーマ2	研究テーマ3
1984	0.5	○			
1985	1.5	○			
1986	2.5	◎		(1)耐海水鋼の腐食調査	(1)付着力・素地面調査
			2.5年経過の結果をまとめ科技庁に報告		
1987	3.5	○			
1988	4.5	○			
1989	5.5	◎	(1)SUS隙間腐食調査 (2)SUS316L鋼電気防食 (開始、2年間)	(1)耐海水鋼腐食調査	(1)付着力・素地面調査 (2)No.12 ベトロラタム+FRP カバー被覆解体調査
1990	6.5	○	(1)モネル溶接部腐食調査 (2)SUS316L鋼隙間腐食 原因調査 (3)厚膜エポキシの ピンホール発生原因調査 (4)厚膜エポキシ塗膜調査	(1)耐海水鋼腐食調査	(1)新規塗料供試 (開始)
1991	7.5	○	(1)SUS316L鋼電気防食 (開始、2年間) (2)チタンクラッド鋼+ 塗装+電防 (開始)		
1992	8.5	○			
1993	9.5	◎	(1)各種ステンレス鋼材 隙間腐食調査 (2)キューブロニッケル、モネ ル、チタン 腐食調査 (3)SUS304鋼電気防食 (開始、2年間) (4)耐海水ステンレス鋼 暴露 (開始)	(1)耐海水鋼腐食調査 (2)耐海水鋼+塗装+ 電防 (開始)	(1)付着力・素地面調査 (2)新規塗料供試 (開始) (3)補修塗装試験 (開始) (4)No.12ベトロラタム+ FRP+カバー系の 一部カバー更新

7.2 試験結果

前述したように本研究は研究テーマ3件のもとに進められたもので、その間、毎年の外観調査の他に回収材を対象とした詳細調査、あるいは独自に腐食原因調査などを実施した。また、試験材の調査項目によっては経年的な比較も行なった。

以下に調査結果の概要を示す。

7.2.1 1993年度調査結果

1993年度は当初の暴露試験開始より10年目にあたり、調査時には9年5ヵ月を経過した。1993年度は当初計画にもとづいて表-7・2に示すように合計22本の試験材を回収した。そのうち、SUS316Lに電気防食を適用した試験材A-1-8およびA-1-9は暴露期間が2年間であるが、他はいずれも9年5ヵ月を経過したものである。また、人工隙間付与の期間は試験材によって9年5ヵ月、6年、2年と異なっている。

1993年度の調査結果は大要次のとおりである。

(1) 研究テーマ1

研究テーマ「高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト防食技術の確立」に関する試験結果は要約すると次のとおりである。

1) 飛沫帯における腐食

- ① 各種ステンレス鋼材は隙間を付与せず生物も付着しない表面では、すべての試験材で腐食が認められなかったが、付着生物下ではA-1-2材およびA-1-3材（SUS316L鋼）に局部腐食が発生した。

人工隙間付与部ではSUS316L鋼は板巻き材、クラッド鋼ともに隙間腐食が発生した。その他ではA-4-3材（22Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N）の人工隙間付与部内の溶接部に隙間腐食が発生した。

- ② A-10-2材（キュプロニッケル）およびA-11-2材（モネル）は表面にうすい緑色の腐食生成物がみとめられるにとどまった。

2) 干満帯および海中部における腐食

- ① 各種ステンレス鋼材は人工隙間を付与せず他の異物の接触、析出、付着のない表面では異状はなかったが、付着生物下ではすべての試験材に局部腐食が発生した。隙間付与部のないA-1-2材（SUS316L鋼）は干満帯の溶接部で被覆3mmを貫通した。

人工隙間付与部では干満帯および海中部ですべての試験材に隙間腐食が発生した。とくに海中部においてA-1-3材（SUS316L鋼）の母材部およびA-3-3材（25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C）の溶接部に被覆3mmの貫通が認められた。

- ② A-10-2材（キュプロニッケル）およびA-11-2材（モネル）は表面は変色程度の異状であったが、モネル材の溶接部では既報（2年5ヵ月では被覆3mm貫通）の深い腐食がさらに進んで素地鋼管にも腐食が発生していた。同条件のチタンは飛沫帯から海中部にいたるまで全く異状を認めなかった。

③ SUS316L鋼の電気防食

一般にステンレス鋼は干満帯以下で隙間腐食がさけられないことが判明したので、この防止対策として電気防食を適用した。すでに1989～1991年の第1回試験でその効果を確認したので、1991～1993年の2年間は第2回試験として電位を-500mVおよび-770(SCB)に設定した。試験結果は極めて良好で人工隙間付与部の隙間腐食、付着生物下の局部腐食は完全に防止された。

(2) 研究テーマ2

研究テーマ「低合金系耐海水鋼材の実用試験における優位性の確認検討」に関する試験結果は要約すると次のとおりである。

- ① 暴露9年5ヵ月間の耐海水鋼の腐食速度は飛沫帯が最大で、干満帯が最小を示した。比較の普通鋼も同様の傾向を示した。
- ② 各ゾーンの平均侵食度は飛沫帯、干満帯、海中部の順に耐海水鋼が0.13mm/y、0.04mm/y、0.07mm/yで、普通鋼は0.18mm/y、0.08mm/y、0.09mm/yを示した。
- ③ 全計測点の侵食度平均を比較すると、普通鋼の0.117mm/yに対して耐海水鋼は0.077mm/yで67%であった。各ゾーン別では耐海水鋼は飛沫帯で72%、干満帯で50%、海中部で78%の耐食性を示した。
- ④ 塗装材は外観観察や膜厚、交流抵抗、ピンホール、付着力等の測定を行った。飛沫帯はほぼ健全な状態であるが、干満帯と海中部では部分的に若干の塗膜劣化が生じていると考えられた。

(3) 研究テーマ3

研究テーマ「新規塗覆装材料及び工法の実使用状態での確性」に関する試験結果を要約すると大要次のとおりである。

1) 塗装系

- ① 外観は全般に良好であるがNa2系は1年5ヵ月後以来やや大きい面積の層間剥離があり、Na8系では4年5ヵ月後に小さい剥離を生じていた。
- ② 膜厚、交流抵抗値には著しい変化はなかった。
- ③ ピンホールは、8系中の5系に認められたが、とくにNa6系に多数検出された。(この系ではすでに1990年に原因調査および対策が明確になっている。巻末付録の独自詳細調査参照)
- ④ 付着力は前回とほぼ同等であった。
- ⑤ 塗膜下の素地観察では異状は認められなかった。

2) 防食材+保護カバー系

- ① Na11系は一部でカバー、防食材とも流失していた。(これは台風損傷によることが明らかになっている。)
- ② その他の系には異状が認められなかった。

表-7・2 1993年度（9年5ヵ月経過）の回収材

研究テーマ	No.	防食施工法	防食仕様	1993年回収材 ○印：人工隙間付与	暴露期間 (年)	隙間付与 (年)
1	A-1-1~5	ステンレス鋼板溶接	SUS 316L	A-1-2、A-1-③	9.5	9.5
	A-2-1~3	ステンレス鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.	A-2-1、A-2-③	9.5	9.5
	A-3-1~3	ステンレス鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.	A-3-1、A-3-③	9.5	9.5
	A-4-1~3	ステンレス鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C.-L.N.	A-4-1、A-4-③	9.5	9.5
	A-5	ステンレス鋼铸込み 圧延クラッド	SUS 316L (铸込み圧延クラッド)	A-⑤	9.5	6
	A-6	溶射+塗装	Zn-13Al ウォッシュ ウレタン + + (200 μ m) プライマー (4mm)			
	A-7-1~2	素管（二相チタン鋼）	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	A-7-①	9.5	6
	A-8-1~2	素管（二相チタン鋼）	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	A-8-②	9.5	6
	A-9-1~2	素管（二相チタン鋼）	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	A-9-①	9.5	6
	A-10-1~2	モノエル圧延クラッド	9-1 Cupro Nickel	A-10-②	9.5	6
	A-11-1~2	モネル圧延クラッド	Monel	A-11-②	9.5	6
	A-12	溶融めっき+塗装	溶融Zn GF入りニッケル めっき + 球状ワイヤー + 粉末 (500 μ m (130 μ m) (30 μ m) $\times$ 3回)			
	A-13-A~C	チタン板溶接	A. 純Ti (素管)	A-13-④	9.5	6
			B. 純Ti (素管) + 純Ti (片)			
			C. 純Ti (素管) + Ti合金 (片)			
	A-1-6	素管 (SUS 316L)	SUS316L			
	A-1-7	素管 (SUS 316L)	SUS316L+電気防食 (約-940mV)			
	A-1-8	素管 (SUS 316L)	SUS316L+電気防食 (-770mV)	A-1-⑧	2	2
	A-1-9	素管 (SUS 316L)	SUS316L+電気防食 (-500mV)	A-1-⑨	2	2
	A-14	モノエル圧延クラッド	9-1 キュプロニッケル			
	C-1	チタンクラッド	Ti			
2	B-1-1~6	Cu-Cr-P系耐海水鋼	裸材 (ブラスト処理)	B-1-3	9.5	
	B-2-1~4	Cu-Cr-P系耐海水鋼	無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + チタン粉 (300 μ m $\times$ 2回)	B-2-2	9.5	
	B-3-1~4	L.C.-Cu-P系耐海水鋼	チタン粉 (300 μ m $\times$ 2回)	B-3-2	9.5	
	B-4-1~6	普通鋼 (SS400)	裸材 (ブラスト処理)	B-4-3	9.5	
	B-5-1~4	普通鋼 (SS400)	無機珪酸 (75 μ m $\times$ 1回) + チタン粉 (300 μ m $\times$ 2回)	B-5-2	9.5	

7.2.2 10年間の調査結果

1984年に開始された各種の暴露試験は1993年に9年5ヵ月を経過した。約10年間の調査結果の概要をまとめて表-7・3(1)～(4)に示した。通常は外観観察を経年的に継続し、3年目(1986年)、6年目(1989年)、10年目(1993年)には回収して破壊試験を含む詳細調査を実施した。その他にも前節の表-7・1に示したように独自の詳細調査として問題解明のために、SUS316L鋼材の隙間腐食原因調査、モネル材溶接部腐食原因調査、SUS316L鋼材の電気防食適用試験、厚膜エポキシ塗膜のピンホール調査等を実施した。

以下にこの10年間の調査結果を総合的にまとめて示す。

(1) 研究テーマ1および2

供試材は各種の金属材料である。

1) 外観

- ① 各種ステンレス鋼材は、干満帯および海中部に貝類を主とする生物付着があるものの外観的には飛沫帯、干満帯とも点錆、点食等の異常は認められなかった。
- ② 9-1キューブロニッケル材はうすい茶色に変色し、モネル材はうすい緑色の腐食生成物に覆われた。
- ③ 普通鋼材および耐海水鋼材は、ともに全面が赤さびに覆われた。これらに塗装したものは板材のエッジ付近に塗膜のふくれ、クラック、小はがれ、赤さび等が若干認められた。
- ④ Znめっき+塗装材およびZn-Al溶射+塗装材はともにほとんど異常がなかった。

2) 生物付着

9-1キューブロニッケル材には生物付着はほとんど認められなかった。他はほぼ同様に干満帯以下に付着した。

3) 塗膜物性

普通鋼および耐海水鋼に無機ジンクリッチペイント+タールエポキシ樹脂塗装材では、膜厚、交流抵抗ともに劣化を示すような変化はなかった。ピンホールは板材のエッジ部の塗膜損傷部で若干検出された。

4) 各種ステンレス鋼の局部腐食

表-7・4には人工隙間付与部における局部腐食発錆状況を示した。表-7・5には人工隙間を付与しない表面における局部腐食発生状況を示した。これらの局部腐食は人工隙間あるいは付着生物下に発生した隙間腐食である。表-7・6および表-7・7にはそれらの隙間腐食の最大深さを条件別に示した。

A. 全般的な傾向

- a. 局部腐食は人工隙間付与部および付着生物下で発生したが、人工隙間の方が深くなる傾向を示した。

- b. 人工隙間付与部の隙間腐食は干満帯より海中部の方が深い傾向があり、また、母材部より溶接部の方が大きさ、深さとも大きかった。
- c. 付着生物下の局部腐食は大きさ、深さとも干満帯と海中部ではほとんど差はなく、また母材部と溶接部でもほぼ同じ程度であった。

B. 材質と環境による特徴

- a. 一般に隙間腐食は干満帯および海中部に発生しやすく、飛沫帯ではわずかであった。
- b. フェライト系ステンレス鋼材 (A-4-3) は人工隙間付与部では飛沫帯、干満帯、海中部では溶接部のみに隙間腐食が発生し、母材部には発生しなかった。しかし、付着生物下では干満帯、海中部で溶接部、母材部ともに局部腐食が発生した。
- c. SUS316L鋼铸込み圧延クラッド材 (A-5) は、他の試験材より多数の局部腐食を発生しており、3年5ヵ月後に海中部の付着生物下で1ヵ所被覆厚さ3mmを貫通した。
- d. 二相ステンレス鋼は、A-7-1材 (25Cr-7Ni-3Mo系)、A-8-2材 (25Cr-6Ni-3Mo-L.C.) では局部腐食の発生は少なかったが、A-9-1材 (22Cr-5Ni-3Mo-L.C.) では多数発生した。

5) SUS316L鋼材の局部腐食 (詳細調査)

SUS316L鋼材 (A-1-3) における局部腐食発生分布は下記のとおりであった。

SUS316L鋼材の局部腐食発生数 (5年5ヵ月間)

A-1-3材	母材部	溶接部	計
飛沫帯	8	0	8
干満帯	76	38	114
海中部	10	13	23
計	94	51	145

- a. 5年5ヵ月暴露後の回収材で付着した貝類の下に多数の局部腐食が確認され、溶接線の3ヵ所 (干満帯で2ヵ所、海中部で1ヵ所) で厚さ3mmを貫通していた。
- b. 干満帯、海中部に多数の局部腐食があり、とくに溶接部に集中していた。人工隙間は付与していないのですべて付着生物下である。
- c. 局部腐食は大きさ、深さとも母材部より溶接部の方が大きい傾向があった。
- d. 溶接部および母材部の金属成分分析、組織検査、電位 (腐食電位、孔食電位、隙間腐食発生電位) 測定などにはとくに腐食を促進する原因を見出せなかった。(巻末付録参照)

6) SUS316L鋼材の電気防食

6) - 1 第1回試験

自然腐食材および電気防食材各1本を供試した。電気防食は電気防食されている試験施設本体との接続によった。試験期間は2年間とした。

A. 自然腐食材の局部腐食

- a. 人工隙間付与部（干満帯2ヵ所、海中部1ヵ所、各200mmの長さに外周を被覆）、付着生物下、溶接部（付着生物下）で局部腐食が発生した。
- b. 局部腐食は干満帯および海中部に多数発生した。飛沫帯では少数であるが付着生物（貝類）の下に限られた。
- c. 母材部より溶接部の方が深い局部腐食（最大で $4.35\text{mm}/2\text{y}$ ）を生じた。参考値であるが溶接を2回重ねた底蓋取付部では $5.45\text{mm}/2\text{y}$ となった。

B. 電気防食効果

- a. 電気防食によって人工隙間部、付着生物下、溶接部の局部腐食はすべて完全に防止された。
- b. 電気防食材は電気防食されている施設本体と同様に、電位は $-930\sim-970\text{mV}$ (SCE)で推移していた。

6) - 2 第2回試験

- a. 前回と同様の電気防食材2本を供試した。電気防食は前回と同様に施設本体との接続によったが、回路に抵抗を挿入して -500mV および -770mV (SCE)の設定電位に手動調整した。 -500mV はSUS316Lのみを想定し、 -770mV はSUS316Lと普通鋼とが組合わされた対象を想定した。
- b. 2年間の通電により両電位に維持されたSUS316L鋼材はともに全く局部腐食を発生しなかった。

7) 非鉄金属材の腐食（詳細調査）

- a. モネル材は溶接線に沿って局部腐食を生じ、2年5ヵ月後に干満帯の付着生物下で 3mm のモネル被覆の貫通が確認された。成分分析をとまなう詳細調査の結果、試験材製作の溶接加工時にFeが多量に混入して成分が希釈され、これが原因で高温割れを生じ、ここが腐食の起点になったと推定された。（付録参照）
- b. 9-1キュプロニッケル材は生物付着下に隙間腐食が発生した。
- c. チタン材は飛沫帯から海中部まで全く隙間腐食を発生しなかった。

8) 耐海水鋼の腐食

表-7・8および図-7・1には耐海水鋼と普通鋼の腐食速度比較を示す。

- a. 耐海水鋼の腐食は飛沫帯が最大で、干満帯のHWL直下が最小を示した。比較の普通鋼も同様の傾向

を示した。

- b. 耐海水鋼、普通鋼とも腐食速度の経年的な低減が顕著であった。
- c. 耐海水鋼の腐食速度は普通鋼と比較が可能な3回の回収材ですべて普通鋼より小さく、飛沫帯から海中部にいたる全平均で、2年5ヵ月間では78%、5年5ヵ月間では70%、9年5ヵ月間では67%を示した。
- d. 各暴露ゾーン別の平均侵食度で普通鋼に対する耐海水鋼の比をみると、経年的には干満帯の低減が最も大きく、5年5ヵ月以後は50%である。
- e. 塗装材では上端部、エッジ部に当初から若干のあてきずが認められたが、その後小さいふくれ、クラック、発錆などが少しずつ増加した。

(3) 研究テーマ3

- a. 塗装系では一部の試験材で開始の翌年にやや大きな剥離を生じた他はチョーキング、ピンホールが散見される程度であった。しかし健全部の詳細調査では付着力に異常はなく、素地にも浸水、発錆などは認められなかった。一部の系における数年経過後のピンホールの増加については、独自に詳細調査を行って原因を究明し、対策も確立することができた。(巻末付録参照)
- b. 防食材+保護カバー系では、一部の試験材でカバーが台風による漂流物の衝突や強い波浪の被害を受け、なかには防食層の流失したものもあったがほとんどの系では異状なく、素地にも腐食は認められなかった。なお、損傷した部分はその都度補修し記録に残した。(巻末付録参照)

(注) 試験材は海上大気部から海中部まで、また第3デッキなどに供試されており、作業者、歩行者、台風波浪、漂流物などさまざまな外的条件の影響がさけられなかったと考えられる。

表-7・3(1) これまでの調査結果の概要

調査年度	経過(年)	研究テーマ		テーマ 1	テーマ 2	テーマ 3
		防食仕様	高耐食金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト、防食技術の確立	低合金系耐海水鋼材の実使用における優位性の確認検討	新規合金被覆材料および工法の実使用状況での確認	
定期一般	1984	0.5	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定	ステンレス鋼 8 種、キプロニカル、モル、チン、溶射+塗装、めっき+塗装、耐海水性ステンレス チタン+塗装+電防 SUS316L電防、SUS304電防	耐海水鋼、普通鋼、耐海水鋼+塗装、普通鋼+塗装、 耐海水鋼+塗装+電防	GF入りビニルエステル、GF入りポリエステル、GF入りエポキシ、厚膜エポキシ、厚膜ウレタン、ウレタン、ポリウレタン、エポキシ+防汚塗料、エポキシ+防汚テープ、ゴム系被覆材+FRPカバー、ベロラム+PE、FRP、FRPカバー、カーボエポキシ、補修材
定期一般	1985	1.5	同上	・前年とあまり変わらない、生物付着量は増加、キプロニカルとモルにみどり錆発生	同上	・上塗り（黒色）の一部に剝離がみられたがまだ、劣化・損傷は認められない。
定期詳細	1986	2.5	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定 附損傷観察 一時除去観察 6本	・外観は前年とほぼ同じ ステンレスは飛来・干潮帯の自由表面では異常ない、人工物周囲は飛来帯では異常ないが干潮帯～海中部ではオースサイト、フェライトのすべてに附着腐食が発生した。 ・キプロニカルおよびモルは干潮帯の付着生物下で浅い腐食を生じ、モルは被覆部の 1ヵ所に貫通する孔食を生じた。 ・キプロニカルは生物付着は他より著しく少ない。塗膜には劣化は認められない。	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定 鋼材の腐食量 回収調査 2本	・塗装片はエッジ部にあて傷、発錆が数ヵ所あり、生物付着量は増加している。 ・耐海水鋼は全レベルで普通鋼より腐食が小さく、約78%であった。とくに干潮帯では 0.1mm/y以下を示した。飛来帯では腐食が最も大きく、普通鋼が 0.29mm/y耐海水鋼が 0.24mm/yであった。
定期一般	1987	3.5	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定 一時除去観察 7本 附損傷与 7本	・外観は前年とほぼ同じ ・引上げ観察までは、モルは±0～1mの溶接部で溶接部を貫通を含む著しい腐食を生じた。飛来帯ではすべて異常なく干潮帯から海中部では付着生物下で二相ステンレスの一部、キプロニカル、モルにかさりの数の局部腐食が発生した。 ・塗膜劣化はまた認められない。	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定	・塗装片のエッジなどの小さい傷はさらに増加したか腐食は少ない。 ・生物による塗膜の損傷はない。
定期一般	1988	4.5	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定	・外観は前年度とほぼ同じ ・キプロニカルは生物付着量が増加した。 ・塗膜劣化は認められない。 ・ビニールはない。	外観、生物付着 自然電位、塗膜測定	・外観は前年度とほぼ同じ。 ・防汚テープ、防汚塗装の生物付着量は他と同じになった。 ・一部の塗装系ではビニールが増加しているが、また塗膜劣化はほとんどない。 ・カバー系の溶接部の一部に脱落あり補修した。

表-7・3(2) これまでの調査結果の概要

研究テーマ			テーマ 1	高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト、防食技術の確立	テーマ 2	低合金系耐海水材料の実使用における優位性の確認検討	テーマ 3	新規塗装材料および工法の実使用状況での確立			
調査年度	経過年数(年)	防食仕様	ステンレス鋼 8 種、キプロニッカル、モル、チン、溶射+塗装、めっき+塗装、耐海水ステンレス鋼、チタン+塗装+電防 SUS316L電防、SUS304電防			耐海水鋼、普通鋼、耐海水鋼+塗装、普通鋼+塗装、耐海水鋼+塗装+電防			GF入りビニルエステル、GF入りポリエステル、GF入りエポキシ、厚膜エポキシ、厚膜ウレタン、ウレタン、ビニルエステル、エポキシ+防汚塗料、エポキシ+防汚テープ、ゴム系粘着材+FRPカバー、ペトロラム+PE、FRP、FRPカバー、カーボエポキシ、補修材		
			定期調査Ⅲ 1989 5.5			定期調査Ⅲ 1989 5.5			定期調査Ⅲ 1989 5.5		
			外観、生物付着一回収調査1本 陽極部および生物下観察 陽極部付与11本 一回収調査 生物下観察1本 電防防食測定	・外観は前年とほぼ同じ ・キプロニッカル、モルの生物付着量が減少 ・人工陽極部付与部では ステンレス鋼の干渉部帯海中部に局部腐食が認められ、SUS316L王冠ラッドは±0 m付近で溶接部で3mmの被覆を貫通する孔食を呈した ・キプロニッカル、モル、チンには陽極腐食は発生しなかった ・生物付着下ではチタンと一部の ステンレス鋼以外で干渉部帯、海中部に局部腐食が発生した。 SUS316L王冠ラッドは干渉部帯で3mmの被覆を貫通する孔食を呈した。 ・ SUS316L一回収材では干渉部帯以下の付着生物下に局部腐食が多発した。 ・塗防測定では剥離はなかった。	外観、生物付着一回収調査5本 板厚塗防測定	・塗装材のふくれ、発錆は増加した。 ・生物付着量は前年と同じ。 ・塗防測定ではビニル系の増加が著しかった。 ・回収した板材では海中部から海中部まで耐海水鋼の方が腐食量が小さく普通鋼の約70%を示した。	外観、生物付着一回収調査1本 打診	・外観は前年とほぼ同じ ・生物付着量は前年と同じ ・塗防測定では一部はビニル系の増加が認められた。 ・塗防測定では、溶水、発錆が認められなかった。 ・防食材+カバー系には異状がなかった (注) 一部のカバー系が防食仕様の変更の施工を行った。			
			定期一般 1990 6.5	外観・生物付着一回収調査1本 局部腐食	・外観は前年とほぼ同じ ・キプロニッカル、モルの生物付着量が減少 ・塗防測定では剥離はなかった。 ・ SUS316Lの陽極腐食に対する電防防食では1年後41mA/m ² 、-951mV(SCE)を示している。 ・前年一回収の SUS316Lの局部腐食については確認調査した。 ・前年までに溶接部で局部腐食(貫通)が確認されていたモネルを回収して詳細調査を行った。	外観・生物付着一回収調査 腐食量1本	・塗装材のふくれ、発錆は前年と同じ。 ・生物付着量は前年と同じより増加。 ・塗防測定結果は前年とほぼ同じ。 ・回収した耐海水材料の腐食量は 5.5 年よりやや小さい侵食度を示した。	外観、生物付着一回収調査 打診	・外観は前年とほぼ同じ。 ・生物付着量は前年と同じ。 ・塗防測定では一部の系に多数の ビニルが検出された。 ・代替的な塗防系についての全方向にわたる付着生物下の観察ではとくに異状はなかった。 ・腐食材+カバー系では防食テープ、保護カバー、バンドの一部に剥離が認められた。 ・カバー系の一部に台風による損傷が認められ緊急修繕を行った。 ・新規試験材として C-2~C-7 (チン、ウレタン、着色ポリエステル、アクリル) の計6本(パイプ)を併試した。		

表-7-3(3) これまでの調査結果の概要

研究テーマ			テーマ 1	テーマ 2	テーマ 3
調査	年度	経過 (年)	高耐食性金属材料被覆法の適用による長寿命、低コスト、防食技術の確立	低合金系耐海水鋼材の実使用における優位性の確認と検討	新規合金被覆材料および工法の実使用状況での確立
			ステンレス鋼 8 種、エポキシ樹脂、モネル、チタン、溶射付+塗装、めっき+塗装、耐海水型ステンレス チタン+塗装+電防 SUS316L 電防、SUS304 電防	耐海水型鋼、普通鋼、耐海水型鋼+塗装、普通鋼+塗装、耐海水型鋼+塗装+電防	GP 入りビルエスチル、GP 入りポリエステル、GP 入りエポキシ、厚膜エポキシ、厚膜ポリウレタン、ウレタン、ウレタン+防汚塗料、エポキシ+防汚塗料、ゴム系被覆材+FRP 被覆、アロイ鋼+PE、FRP、FRP 被覆、カラーエポキシ、補修材
定期一般	1991	7.5	外観、生物付着、腐食物性 回収調査 2 本 (SUS316L 電防) (SUS316L 自然) ・外観は前年とほぼ同じ ・SUS316L では溶射付と部、付着生物下溶射部で局部腐食発生、最大値は深さ 5.45mm、発生原因は成分分析、EPA、電位差等の調査では特定できなかった ・SUS316L 電防食材は電位差 40~80 mV/m、電位 -930~-970mV (SCE) で溶射付と部、付着生物下、溶射部の局部腐食 (溶射部腐食を含む) が全て防止された。 ・新規被覆材として C-1 (チタン被覆板+一部塗装+電防食) を試験した	外観、生物付着、腐食物性 ・外観的には前年度とほぼおなじで、一部にふくれ、ピンホールが追加した。	外観、生物付着、腐食物性 打診 ・外観的には前年とほぼ同じ ・生物付着状況は前年と同じ ・腐食物性 (腐食、電位差) に著しい変化はなかったが、一部の系に多数のピンホールが認められた。 ・防食材+カバー系の一部に台風による損傷があり応急補修を行った。 ・1990年度に開始した新規被覆材 (G 被覆取付け) はほとんど完成した。
定期一般	1992	8.5	外観、生物付着、腐食物性 ・外観は前年とほぼ同じ ・生物付着状況は前年とほぼ同じ ・腐食物性に大きな変化はない	外観、生物付着、腐食物性 ・外観は前年とほぼ同じ ・ふくれの発生は少し追加した ・生物付着状況は前年とほぼ同じ ・腐食物性に大きな変化はない	外観、生物付着、腐食物性 打診 新規取付材 (1990) の調査 ・溶食、被覆とも外観は前年と同じ ・溶食、被覆の一部に小さいあて傷、クラック、剥離などが発生した ・生物付着状況は前年とほぼ同じ ・腐食物性に大きな変化はない ・新規被覆材 (電防 2 年) は外観、色、溶食、ピンホール、交流電位とも異常なし ・色差、光沢度はバラツキは認められるがほぼ安定であった。
定期詳細	1993	9.5	外観、生物付着、腐食物性 回収調査 ・A 系 15 本 ・SUS316L 電防 2 本 新規暴露 ・D 系 3 本 ・SUS304 電防 3 本 ・外観、生物付着ともに前年とほぼ同じ ・ステンレス鋼各種とも人工溶射付と部で溶射部腐食が追加した。干潟部、海中部では 3mm の被覆剥離もあった。 ・非人工溶射付と部ではとくに SUS316L が干潟部の付着生物下で著しく多数の溶射部腐食が発生した。 2 本系のうち A-9-1 材も同様であった ・SUS316L の電防食材 (-500~-770mV, SCE) ではともに溶射部腐食がすべて防止された。 ・チタンはすべての条件下で局部腐食が発生しなかった。 ・モネル、9-1 キュプロニッケルは付着生物下で浅い局部腐食が発生した。	外観、生物付着、腐食物性 回収調査 ・B 系 5 本 新規暴露 ・D 系 2 本 ・D 系 2 本 ・塗装材では上部部、エッジ部にて腐ふくれ、クラックが観察された。 ・生物付着状況、腐食物性とも前年と大きな変化はなかった。 ・耐海水型鋼の腐食傾向は前回回収と同様で、全レベル平均では普通鋼より腐食が小さく (G79%)、経年的には耐海水型とも腐食傾向が軽減した。 ・回収した塗装材の測定では干潟部と海中部で部分的に腐食が認められた	外観、生物付着、腐食物性 新規暴露 E 系 4 本 F 系 5 本 G 系 4 本 本体 5 本 ・外観では一部の塗装系にチョーキングとあて傷が認められた。カバー系では No.11 の現場ライニングが台風で剥離した。 ・腐食物性では一部の系にピンホールが検出された。付着力に低下は認められなかった。 ・溶食面には浸水、発錆とも認められなかった。 ・90年度に開始した C 系塗装材には外観、溶食物性とも異常は認められなかった。

表-7・3(4) これまでの調査結果の概要

調査年度			調査テーマ 防食仕様 経過 (年)	テーマ 1 耐食性金属材料被覆法の適用による寿命、 低コスト、防食技術の確立	テーマ 2 低合金系耐海水鋼材の実使用における優位性 の確認検討	テーマ 3 新規塗覆被覆材料および工法の実使用状況での 確認
				ステンレス鋼 8 種、エポキシ、モル、チン、溶射+塗装、めっき +塗装、耐海水ステンレス、チン+塗装+防食 SUS316L防食、SUS304防食	耐海水鋼、普通鋼、耐海水鋼+塗装、普通鋼+塗装、 耐海水鋼+塗装+防食	GF入りビニルエステル、GF入りポリエステル、GF入りエポキシ、厚膜エポキシ、 厚膜シリコン、ウレタン、シリコン、エポキシ+防汚塗料、エポキシ+防汚 テープ、ゴム系塗料+FRPカバー、ペトロラム+PE、FRP、 FRPPカバー、カーボニック、補修材
定期一般	1994	10.5		・1993年防食のSUS304は防食不良こうすい 赤錆が認められた。 ・1993年防食のSUS304の防食 (-500mV、 -770mV) では-500mV片に析線不通電が あり補修 ・その他は前年と同じ	・耐海水鋼+塗装+防食材は施設本体と 同等の電位を示した。 ・その他は前年と同じ	新規暴露 E系1本 ・塗料、被覆とも前年と同じ ・カバー系No.11の一部防食不良が確認

表-7・4 人工隙間付与部における隙間腐食発生状況 (個数)

(mm)

試 験 材			1986年度			1989年度						1993年度					
			2年5ヵ月			2年*			5年5ヵ月			4年*			9年5ヵ月		
試験材 No	施工法	防食仕様	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部
			HWL直上	±0付近	LWL直下	HWL直上	±0付近	LWL直下	HWL直上	±0付近	LWL直下	HWL直上	±0付近	LWL直下	HWL直上	±0付近	LWL直下
			+1190~+990	+140~-60	-840~-1040	+1190~+990	+140~-60	-840~-1040	+1190~+990	+140~-60	-840~-1040	+1190~+990	+140~-60	-840~-1040	+1190~+990	+140~-60	-840~-1040
A-1-3	ステンレス鋼 板溶接	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	0	4	3	—	—	—	0	5	8	—	—	—	4	8	9
			0	4	1	—	—	—	0	3	1	—	—	—	1	2	5
A-2-3	"	22Cr-20Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	0	3	3	—	—	—	0	5	5	—	—	—	0	6	4
			0	0	0	—	—	—	0	1	0	—	—	—	0	1	0
A-3-3	"	25Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	0	3	6	—	—	—	0	3	5	—	—	—	0	7	5
			0	0	1	—	—	—	0	0	1	—	—	—	0	0	1
A-4-3	"	26Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0
			1	3	2	—	—	—	3	3	2	—	—	—	4	2	2
A-5	ステンレス鋼 鉚込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	—	—	—	1	4	5	—	—	—	3	9	10	—	—	—
			—	—	—	0	1	0	—	—	—	0	2	0	—	—	—
A-7-1	2 40 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N.L.C.	—	—	—	0	0	1	—	—	—	0	2	1	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	—	—	—
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	1	0	—	—	—
			—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0	0	—	—	—
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	—	—	—	0	3	2	—	—	—	0	4	8	—	—	—
			—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	2	2	—	—	—
A-10-2	キューブ ニッケル	9-1 キューブニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)	—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—
			—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NCuP) 65Ni-31Cu	—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—
			—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—
A-13-A	純チタン	JIS2種 TP35C	—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—
			—	—	—	0	0	0	—	—	—	0	0	0	—	—	—

注) 上段は飛沫部、下段は溶接部

1) *1 2年とは1987年に人工隙間付与した後の期間である。

2) *2 4年とは1989年に第2回人工隙間付与した後の期間で、それ以前にすでに2年間の付与期間があり、表中の値は2回の付与期間通算6年間の結果である。

表-7.5 人工隙間を付与しない表面における局部腐食発生状況 (個数)

試 験 材			1986	1987				1989				1993			
			2年5ヵ月	3年5ヵ月				5年5ヵ月				9年5ヵ月			
試験材 No.	施工法	防食仕様	部分的な観察	干渉計上部	干渉計中部	干渉計下部	海 中 部	干渉計上部	干渉計中部	干渉計下部	海 中 部	試験材 No.	飛 沫 帯	干 満 帯	海 中 部
				HWL直下	±0直上	±0直下	LWL直下	HWL直下	±0直上	±0直下	LWL直下				
				+670-+570	+170-+70	-330-+30	-830-930	+670-+570	+370-+270	-130-230	-530-630				
A-1-3	ステンレス鋼 板 溶 接	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	干渉計に3ヵ所	—	—	—	—	2	2	2	1	A-1-2	0	146	33
				—	—	—	—	—	—	—	—	A-1-3	7	133	5
A-2-3	"	22Cr-20Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	干渉計に1ヵ所	—	—	—	—	0	0	0	0	A-2-1	0	0	0
				—	—	—	—	—	—	—	—	A-2-3	0	1	0
A-3-3	"	22Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.	—	—	—	—	—	0	0	0	0	A-3-1	0	0	0
				—	—	—	—	—	—	—	—	A-3-3	0	0	0
A-4-3	"	20Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.	干渉計から海中部に 4ヵ所	—	—	—	—	0	0	0	0	A-4-1	0	1	5
				—	—	—	—	1	1	3	3	A-4-3	0	1	0
A-5	ステンレス鋼 防込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	—	2	11	6	17	4	15	6	26	/	1	148	9
A-7-1	2 相 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N.L.C.	—	0	0	0	0	1	0	0	0		0	4	0
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	—	1	2	0	0	0	2	1	0	/	0	9	0
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	干渉計に1ヵ所	5	8	2	14	3	1	1	3		0	106	25
A-10-2	キューブ ニッケル	9-1 キューブニッケル (88Cu-5Ni-Fe-Mn)	—	0	2	7	4	0	3	11	0	/	0	20	1
				—	—	1	—	—	—	—	—		0	0	0
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NOIP) 65Ni-31Cu	海中部の溶接部で 3mmのモネル厚に 腐食も発生	0	11	10	17	13	34	30	24	/	0	0	0
A-13-A	純チタン	JIS規格 Ti35C	—	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0

注) 上段は母材部、下段は溶接部、— は調査していないことを示す。

1) 1986年(2年5ヵ月)には必要箇所を部分的に観察し、1993年(9年5ヵ月)には全面を観察した。

2) ※1 干渉計から海中部にわたり溶接部に沿って長さ10〜65mm、幅4〜5mmの深い侵食があり、局部部にはモネル板厚(3mm)を以て腐食し、溶接部も腐食し、さび粉が脱落している。
試験材の腐食状況を写真撮影し、拡大撮影した。

表-7・6 人工隙間付与部における隙間腐食発生状況 (最大深さ)

(mm)

試 験 材			1986年度			1989年度						1993年度					
			2年5ヵ月			2年*			5年5ヵ月			4年*			9年5ヵ月		
			飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部
			HWL直上 +1190~+990	±0付近 +140~-60	LWL直下 -840~-1040	HWL直上 +1190~+990	±0付近 +140~-60	LWL直下 -840~-1040	HWL直上 +1190~+990	±0付近 +140~-60	LWL直下 -840~-1040	HWL直上 +1190~+990	±0付近 +140~-60	LWL直下 -840~-1040	HWL直上 +1190~+990	±0付近 +140~-60	LWL直下 -840~-1040
試験材 No.	施工法	防食仕様															
A-1-3	ステンレス鋼 板溶接	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)		1.05 1.45	1.45 1.60	—	—	—		1.05 1.50	2.35 1.82	—	—	—	0.11 0.40	1.73 1.53	貫通>3 1.95
A-2-3	"	22Cr-26Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.		0.40	1.10	—	—	—		0.95 0.28	1.43	—	—	—		0.88 0.32	1.41
A-3-3	"	25Cr-50Ni-6Mo-Cu -Ti-L.C.		0.30	0.90 2.95	—	—	—		0.38	1.67 2.95	—	—	—		0.43	1.69 貫通>3
A-4-3	"	20Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.		0.40	1.20 1.50	—	—	—		0.40	1.22 1.53	—	—	—		0.29 1.28	1.55
A-5	ステンレス鋼 鉄込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	—	—	—	0.20	2.10 貫通>3	1.40	—	—	—	0.22	2.10 貫通>3	2.25	—	—	—
A-7-1	2相 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N.L.C.	—	—	—			0.33	—	—	—		0.22	0.18	—	—	—
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	—	—	—				—	—	—		1.05		—	—	—
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	—	—	—		2.07	1.61	—	—	—		2.07 1.70	1.37 0.30	—	—	—
A-10-2	キュプロ ニッケル	9-1 キュプロニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)	—	—	—				—	—	—				—	—	—
A-11-2	モネル圧延 クラッド	モネル (NCuP) 65Ni-31Cu	—	—	—				—	—	—				—	—	—
A-13-A	純チタン	JIS2種 TP35C	—	—	—				—	—	—				—	—	—

注) 上段は母材部、下段は溶接部 — は調査していないことを示し、空欄は局部腐食がないことを示す。

1) *1 2年とは1987年に人工隙間付与した後の期間である。

2) *2 4年とは1989年に第2回人工隙間付与した後の期間で、それ以前にすでに2年間の付与期間があり、表中の値は2回の付与期間通算4年間の結果である。

表-7.7 人工隙間を付与しない表面における局部腐食発生状況（最大深さ）

(mm)

試 験 材			1986	1987				1989				1993			
			2年5ヵ月	3年5ヵ月				5年5ヵ月				9年5ヵ月			
試験材 No	施工法	防食仕様	全般的な観察	干渉帯上部	干渉帯下部	干渉帯下部	海中部	干渉帯上部	干渉帯下部	干渉帯下部	海中部	試験材 No	飛沫帯	干渉帯	海中部
				HWL直下	±0直上	±0直下	LWL直下	HWL直下	±0直上	±0直下	LWL直下				
				+670+570	+170+170	-330-430	-830-930	+670+570	+370+270	-130-230	-530-630				
A-1-3	ステンレス鋼	SUS 316L	0.15	—	—	—	—	0.02	0.10	0.12	0.20	A-1-2		1.28 貫通>3	1.14 0.81
	板溶接	(17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)										A-1-3	0.31 0.06	0.90 1.16	2.32 0.10
A-2-3	"	22Cr-25Ni-6Mo-Cu	0.05	—	—	—	—					A-2-1		0.45	
		-Ti-L.C.										A-2-3		0.08 0.27	
A-3-3	"	25Cr-50Ni-6Mo-Cu	—	—	—	—	—					A-3-1		0.13	
		-Ti-L.C.										A-3-3			
A-4-3	"	20Cr-14Mo-Ni-L.C.	0.40	—	—	—	—					A-4-1		0.25 0.48	0.31 1.20
		-L.N.						0.09	0.16	0.66	0.42	A-4-3		0.45 0.72	
A-5	ステンレス鋼 鉄込み圧延 クラッド	SUS 316L (17Cr-12Ni-2Mo-L.C.)	—	0.03	0.07	2.13 0.50	0.70 0.35	0.09	0.44	0.17	0.31		0.05	貫通>3 1.46	1.00 0.07
A-7-1	2相 ステンレス鋼	25Cr-7Ni-3Mo-Cu -N.L.C.	—	—	—	—	—	0.10	—	—	—		—	0.60	—
A-8-2	"	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.		0.15	0.25	—	—	—	0.08	0.12	—		—	0.38	—
A-9-1	"	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	—	0.15	0.18	0.15	0.45	0.09	0.02	0.07	0.55			1.28 0.87	1.11 1.01
				0.20	0.15		0.45		0.22	0.03	1.32				
A-10-2	キューブ ニッケル	9-1 キューブニッケル (88Cu-9Ni-Fe-Mn)	0.10		0.20	0.15	0.15		0.05	0.15				0.25	0.17
						0.13									
A-11-2	モネル合金 クラッド	モネル (NO.1) 65Ni-31Cu	0.10 貫通>3		0.17	0.10	0.23	0.05	0.05	0.07	0.06			0.90に貫通 >3あり	>3あり
A-13-A	純チタン	JISZ種 TP35C	—												

注) 上段は試験材、下段は溶接部 — は調査していないことを示し、空欄は局部腐食がないことを示す。

1) 1986年(2年5ヵ月)、1993年(9年5ヵ月)は、試験箇所を特定せず、全面を観察した。

2) ※1 干渉帯から海中部にわたり溶接線に沿って長さ10〜65mm、幅4〜5mmの深い浸食があり、局部的にはモネル被覆(3mm²/m²)を貫通し、銅合金を浸食し、さび粉が飛出している。

表-7・8 耐海水鋼と普通鋼の腐食速度

(研究テーマ 2)

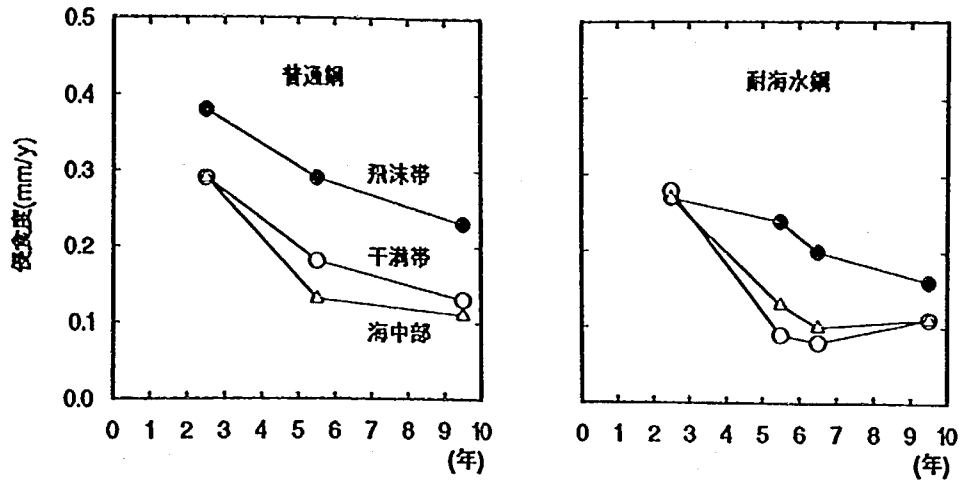
(mm/y)

年	1986年		1989年		1990年	1993年	
経過	2年5ヵ月		5年5ヵ月		6年5ヵ月	9年5ヵ月	
No.	B-1-1	B-4-1	B-1-2	B-4-2	B-1-6	B-1-3	B-4-3
鋼種	耐海水鋼	普通鋼	耐海水鋼	普通鋼	耐海水鋼	耐海水鋼	普通鋼
飛沫帯	0.21~0.27	0.22~0.38	0.13~0.24	0.12~0.29	0.11~0.20	0.07~0.16	0.09~0.23
	0.24	0.33	0.19	0.23	0.16	0.13	0.18
	73%		83%		—	72%	
干満帯	0.03~0.28	0.09~0.29	0.02~0.09	0.04~0.18	0.02~0.08	0.01~0.11	0.01~0.13
	0.15	0.18	0.05	0.11	0.04	0.04	0.08
	83%		45%		—	50%	
海中部	0.22~0.27	0.27~0.29	0.07~0.12	0.10~0.13	0.06~0.10	0.05~0.09	0.07~0.11
	0.25	0.28	0.10	0.12	0.08	0.07	0.09
	89%		83%		—	78%	
全平均	0.19	0.25	0.11	0.16	0.09	0.08	0.12
	78%		70%		—	67%	

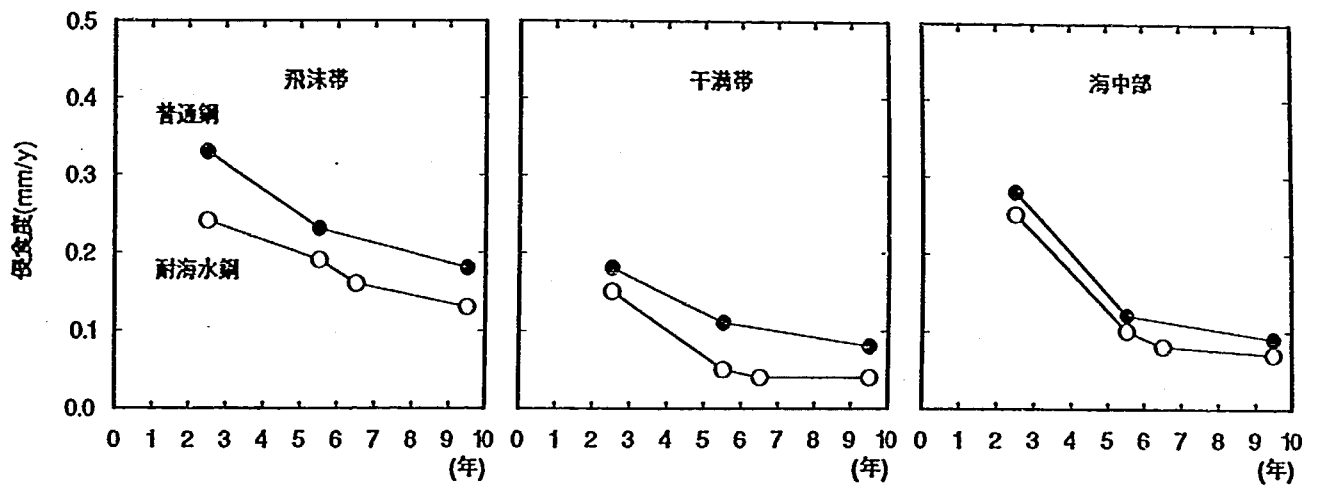
(注) 表示は

耐海水鋼	普通鋼
最小値~最大値	最小値~最大値
平均値	平均値
普通鋼に対する耐海水鋼の比 (%)	

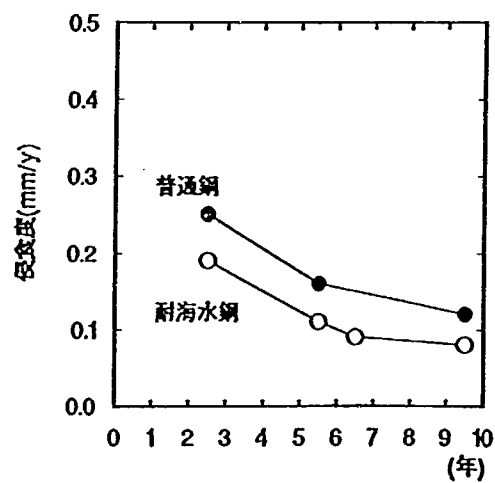
(a) 鋼種別侵食度の最大値



(b) 暴露ゾーン別侵食度平均値



(c) 全平均侵食度



研究テーマ2

図-7.1 耐海水鋼と普通鋼の腐食速度 (駿河湾)

あ　と　が　き

わが国における近年の社会資産整備の進展過程では、海に囲まれる国土の関係で海洋空間の有効利用は宿命的な重要課題である。海域に建設される土木鋼構造物は、その多目的な用途に応じ、ますます大型化、複雑化し、とくに長期耐用を要求されている。しかし海域は飛沫帯、干満帯を中心に極めて苛酷な腐食環境であるとともに、防食施工や補修施工が困難な場合が多い。このため、防食技術は優れた耐食材料や施工法に、さらに耐久性を期待され、メンテナンスフリー化が必要となっている。

1984年に開始した「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」は、第一分科会担当の課題「飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究」について、3件の研究テーマのもとに当初策定した10年間の長期計画にもとづく試験を終了した。その間、中間的見直しや追加試験などを行って、初期の目的に沿う多くの成果が得られた。

1993年は10年目にあたるので10年目の結果とともに10年間の調査結果をまとめ、かつ、次の10年間のための試験材暴露も開始した。苛酷な海洋環境における耐食性や耐久性の確認試験は長期間の継続が必要である。本報告書は1994年までの調査研究を総合的にまとめたもので、これが将来につながる新しい知見となれば幸いである。

本研究における一連の暴露試験調査は、駿河湾海洋技術総合研究施設（マリンステーションするが）において実施しているものである。末筆ながら同施設の管理者である中部地方建設局静岡河川工事事務所に対し深甚なる謝意を表する次第である。

卷 末 付 録

- 1 試験材の製作・施工担当会社
- 2 独自詳細調査
- 3 補修記録
- 4 研究発表記録

14

14

14

14

14

1 試験材の製作・加工の担当会社

本研究において供試した各種試験材は参加各社の協議によって決められたが、主として、研究テーマ1および2の金属材料系に関しては分担とし、研究テーマ3の塗覆装材料系に関しては、それぞれ所有し、または開発過程の防食仕様を供試した。

表-1・1 金属被覆系試験材および製作担当会社 (研究テーマ1)

(第1次試験材)

No	防 食 施 工 法	防 食 仕 様	製作担当会社	当初本数 84
A-1-1~5	ステンレス鋼板溶接	SUS 316L	住友金属工業	5
A-2-1~3	ステンレス鋼板溶接	22Cr-26Ni-5Mo-Ti-L.C.		3
A-3-1~3	ステンレス鋼板溶接	25Cr-50Ni-6Mo-Cu-Ti-L.C.		3
A-4-1~3	ステンレス鋼板溶接	26Cr-4Mo-Ni-L.C. -L.N.	川 崎 製 鉄	3
A-5	ステンレス鋼铸込み 圧延クラッド	SUS 316L (铸込み圧延クラッド)	川 崎 製 鉄	1
A-6	溶射+塗装	Zn-13Al + ウレタン + (200μm) プライマー (4mm)	鉛亜鉛研究会	1
A-7-1~2	素管 (二相ステンレス鋼)	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-N-L.C.	住友金属工業	2
A-8-1~2	素管 (二相ステンレス鋼)	25Cr-6Ni-3Mo-L.C.	日 本 鋼 管	2
A-9-1~2	素管 (二相ステンレス鋼)	22Cr-5Ni-3Mo-L.C.	新日本製鐵	2
A-10-1~2	銅合金圧延クラッド	9-1 Cupro Nickel	神 戸 製 鋼 所	2
A-11-1~2	モネル圧延クラッド	Monel	日 本 製 鋼 所	2
A-12	溶融めっき+塗装	溶融Zn + GF入りエポキシ めっき+ プライマー + テル(500μm (130μm) (30μm) × 3回)	鉛亜鉛研究会	1
A-13-A~C	チタン板溶接	A. 純Ti (素管)	チタニウム協会	3
		B. 純Ti (素管) + 純Ti (片)		
		C. 純Ti (素管) + Ti合金 (片)		
				30

注) ◎ : 1984年隙間付与材
 △ : 1987年隙間付与材
 ⊗ : 1989年撤去済み
 ○ : 1990年撤去済み

表-1・2 耐海水鋼試験材および製作担当会社（研究テーマ 2）

（第1次試験材）

№	鋼 種	防 食 仕 様	製 作 担 当 会 社	当 初 本 数 84
B-1	Cu-Cr-P 系耐海水鋼	裸材（ブラスト処理）	日 本 鋼 管	6
B-2	Cu-Cr-P 系耐海水鋼	無期シクリフ (75 μ m×1回) + ターレットシ (300 μ m×2回)	日 本 鋼 管	4
B-3	L.C.-Cu-P 系耐海水鋼	ターレットシ (300 μ m×2回)	新日本製鐵	4
B-4	普通鋼 (S S 400)	裸材（ブラスト処理）	日 本 鋼 管	6
B-5	普通鋼 (S S 400)	無期シクリフ (75 μ m×1回) + ターレットシ (300 μ m×2回)	日 本 鋼 管	4
				24

表-1・4 (1) 塗覆装系試験材および施工担当会社 (研究テーマ3)

(第1次試験材)

No.	防食系	防食仕様	施工担当会社
1	ガラスフレーク入り ビニルエステル 樹脂塗料	ビニルエステル系プライマー (30 μ m) + GF入りビニルエステル(300 μ m $\times$ 3回) + ポリウレタン (30 μ m)	昭和 高 分 子
2	ガラスフレーク入り ポリエステル	有機ジンクリッチ (75 μ m) + GF入りポリエステル (3回塗り、1400 μ m)	大 日 本 塗 料
3	樹脂塗料	ポリエステル系プライマー(60 μ m) + GF入りポリエステル (3回塗り、1400 μ m)	日 本 シ-ア-ルエム
4	ガラスフレーク入り	GF入りエポキシ (3回塗り、2000 μ m)	中 国 塗 料
5	エポキシ樹脂塗料	有機ジンクリッチ (75 μ m) + エポキシ系プライマー(30 μ m) + GF入りエポキシ(500 μ m $\times$ 3回)	日 本 油 脂
6	厚膜エポキシ 樹脂塗料	無機ジンクリッチ (15 μ m) + エポキシ (2000 μ m)	関 西 ペ イ ン ト
7	厚膜ウレタン 樹脂塗料	ポリウレタン系プライマー(25 μ m) + ポリウレタン (2000 μ m) + ポリウレタン (30 μ m)	三井金属塗料化学
8-1	エポキシ系	エポキシ系プライマー(25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル(多層塗り、2000 μ m) + ポリウレタン (50 μ m)	井 上 商 会
8-2	レジンモルタル	エポキシ系プライマー(25 μ m) + エポキシ系レジンモルタル(多層塗り、2000 μ m) + アクリル (50 μ m)	
9-1	ベトロラム+ FRPカバー	ベトロラム・ベスト(2.5kg/m ²) + ポリウレタン発泡体 (緩衝材、5mm) + FRPカバー(3mm)	日 東 電 気 工 業

表-1・4 (2) 塗覆装系試験材および施工担当会社 (研究テーマ3)

(第1次試験材)

No.	防食系	防食仕様	施工担当会社
9-2	エポキシ樹脂塗料 + 防汚塗料	無機ゾクリッチ (50 μ m) + エポキシ (500 μ m $\times$ 2回) + 有機錫系防汚塗料 (100 μ m)	日 東 電 気 工 業
9-3	エポキシ樹脂塗料 + 防汚テープ	無機ゾクリッチ (50 μ m) + エポキシ (500 μ m $\times$ 2回) + アクリル系ゲル防汚テープ (3 mm)	
10-1	ゴム系粘着材 + FRPカバー	ブチルゴム系粘着材 (1.2mm) + NR系膨潤ゴム (3 mm) + FRPカバー (4 mm)	ブ リ チ ス ト ン
10-2		ブチルゴム系粘着材 (1.2mm) + FRPカバー (3 mm)	
11	ベトロラタム + FRPカバー	ベトロラタム・ベスト (0.3kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (1 mm) + FRPカバー (光硬化型、3 mm) + ポリウレタン (0.2kg/ m^2)	横 浜 ゴ ム
12-1	ベトロラタム + 各種カバー	ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (55%ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPカバー (2 mm)	ナ カ ボ ー テ ッ ク
12-2-1		ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (55%ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPカバー (2 mm)	
12-2-2		ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・シート (2 mm) 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (2 mm)	
12-3-1		ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (55%ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPカバー (3 mm)	
12-3-2		ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (55%ラップ) + 発泡PE (10mm) + FRPカバー (3 mm)	
12-4	ベトロラタム + FRPライニング	ベトロラタム・ベスト (0.5kg/ m^2) + ベトロラタム・テープ (55%ラップ) + FRPライニング (2 mm)	

表-1.5 塗覆装系試験材および施工担当会社（研究テーマ3）

（第2次試験材）

テーマ	試験材		試験材No	塗覆装系	色調	防食仕様				施工担当会社
3	新規試験体	新規塗料	C-2	シリコン樹脂塗料+ふっ素樹脂塗料	淡青	シリコン（黒）+着色ふっ素（淡青）				新日本製鐵
			C-3	ポリエチレン	淡緑	着色シリコン（淡緑）				日本鋼管
			C-4	シリコン樹脂塗料+アクリル樹脂塗料	濃緑	シリコン（黒）+着色アクリル（濃緑）				川崎製鉄
			C-5	シリコン樹脂塗料	緑	着色シリコン（緑2500 μ m）				住友金属工業
			C-6	シリコン樹脂塗料	黒	黒色シリコン（2500 μ m）				三井金属塗料化学
			C-7	アクリル樹脂塗料+ふっ素シリコン共重合樹脂塗料	灰	水中硬化型アクリル系（下塗：2000 μ m中塗：300 μ m）+着色ふっ素・シリコン共重合（灰色70 μ m）				昭和高分子
3	新規露部試験体	新-ポリエチレン樹脂被覆	単色	E-1	ポリエチレン樹脂被覆	グレイッシュイエローグリーン				新日本製鐵
			単色	E-2	ポリエチレン樹脂被覆	グレイッシュイエローグリーン	丸ダイ法			日本鋼管
			単色	E-3	ポリエチレン樹脂被覆	グレイッシュグリーン	丸ダイ法			川崎製鉄
			模様	E-5	ポリエチレン樹脂被覆	石積調	多重繊維シート貼り付け方法			住友金属工業
3	新規試験体	新規塗料	F-1	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	淡緑	OZP（20 μ m）+エポキシ（1000 μ m $\times$ 2）				関西ペイント
			F-2	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	青	OZP（20 μ m）+エポキシ（1250 μ m $\times$ 2）				大日本塗料
			F-3	アクリル系樹脂塗料	青	プライマー（70 μ m）+アクリル（1500+1000 μ m）+アクリル（50 μ m）				昭和高分子
			F-4	ポリウレタン樹脂塗料	黒	プライマー（30 μ m）+ポリウレタン（2500 μ m）				三井金属塗料化学
			F-5	高耐候性上塗塗料（接海水環境）	シリコン樹脂塗料	下塗り 淡緑	OZP（20 μ m）+ エポキシ（1000 μ m $\times$ 2）	シリコン用中塗（30 μ m）+シリコン上塗り（25 μ m）	各 1/3 周	関西ペイント 大日本塗料
		ふっ素樹脂塗料				ふっ素用中塗（30 μ m）+ふっ素上塗り（25 μ m）				
		シリコン樹脂塗料			上塗り 白	シリコン用中塗（35 μ m）+シリコン上塗り（35 μ m）				
		補修材料	G-1	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	淡緑	OZP（20 μ m）+エポキシ（1000 μ m $\times$ 2）※塗り残し有り				関西ペイント
				水中硬化型エポキシ樹脂塗料	緑	水中硬化型エポキシ樹脂塗料（5000 μ m）				
			G-2	GF入り着色ビニルエステル	青.....	変成エポキシ（50 μ m）+GF入り着色ビニルエステル（350 μ m $\times$ 2）（OZP残）※塗り残し有り				大日本塗料
				変成エポキシ（50 μ m）+GF入り着色ビニルエステル（350 μ m $\times$ 2）						
			G-3	クールエポキシ	黒	クールエポキシ（70 μ m）+クールエポキシ（70 μ m）				昭和高分子
				アクリル系樹脂塗料	青	プライマー（200 μ m）+アクリル（150 μ m）+アクリル（1000 μ m）				
			G-4	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	緑.....	OZP（75 μ m）+プライマー（30 μ m）+GF入りエポキシ（600 μ m $\times$ 3）※損傷付き				日本油脂
				①無溶剤型エポキシ樹脂塗料②防食シート				①無溶剤エポキシ樹脂塗料（400～500 μ m）②防食シート（500～600 μ m）		
ベトログラム+FRPカバー		本体	ベトログラム+FRPカバー	淡緑	ベトログラムベース+ベトログラムテープ+発泡ポリエチレン+FRPカバー 0.5kg/m ² 55%重量 10倍、10mm 4mm、5mm				ナカボータック	

2 独自詳細調査

本研究の暴露試験において生じた問題点に対して実施された独自詳細調査は次のとおりである。調査は主として試験材加工もしくは提供の会社が実施した。以下にその項目と調査結果の要旨をまとめ、さらに調査報告の一部を添付した。

調 査 項 目

No	研究テーマ	年度	調 査 標 題	担 当 会 社
1	3	1989	(1) ペトロラム+FRPカバー系 防食被覆の解体調査	(株) ナカボーテック
2	1	1990	(2) モネルクラッド鋼溶接部原因 調査	(株) 日本製鋼所
3	1	1990	(3) SUS316L鋼隙間原因調 査	住友金属工業株式会社 (株) ナカボーテック
4	3	1990	(4) 厚膜エポキシ樹脂塗膜におけ るピンホール発生原因調査	関西ペイント株式会社
5	3	1990	(5) 厚膜エポキシ樹脂塗膜調査	関西ペイント株式会社

2.1 ペトロラタム+FRPカバー系防食被覆の解体調査 (研究テーマ3)

1989年度

(株)ナカボーテック

要旨

- a. 試験施設本体の杭9本に施工された暴露当初からの防食被覆を一部補修する機会にすべて標準仕様に統一した。その際、被覆を解体して鋼管杭素地面の防食状況を目視観察した。
- b. 鋼素地面にはほとんど発錆が認められず、台風により保護カバーが損傷した部分に浸水の跡とわずかな発錆がみられた。
- c. 保護カバー材ではFRPカバーにわずかにチョーキングが認められ、PEカバーに注意して判別できる程度のゆるい波状の変形がみられた。
- d. 防食ペースト、防食テープともほとんど異常ないが、浸水したと思われる箇所はやや黒変していた。

表-1-1 防食被覆および鋼素地面の状況（目視観察結果、5.5ヵ年経過）

系	杭	防食仕様	シール材	カバー材	防食層	防食状態
12-1	1 A	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (2mm)	接着良好	南側はわずかにチロッキング	防食ペースト、防食テープとも異状なし	腐食なく良好
12-2-1	2 A	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (2mm)	上部カバー下部とシム部との境界で一部剥離、FRPP面とは接着良好	南側はわずかにチロッキング	上部カバー下端部付近の防食テープ一部黒変	腐食なく良好
12-4	3 A	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + FRPライニング (2mm)	——	シム部のFRP現場ライニング部破損	カバー破損部は防食テープ防食ペーストの一部が脱落	防食層が脱落したシム部は発錆 カバー防食層とも健全な部分は発錆なし
12-3-1	1 B	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + PEカバー (3mm)	上部カバー上端部シーラー部剥離 PE面とは接着不良	全体に緩く波状の変形	カバー最上端付近の防食テープの密着が低下	カバー最上端の一部より浸水の跡があり防食テープ、防食ペーストが一部黒変、発錆わずか
12-3-1	2 B	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + PEカバー (3mm)	上部カバーの下端部、下部カバーの上端部ともシム部との境界シーラーの一部剥離PE面とは接着不良	同 上	防食ペースト、防食テープとも変化なし	腐食なく良好
12-3-2	3 B	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・シート (2mm) + 発泡PE (10mm) + PEカバー (3mm)	PE面とは接着不良	同 上	防食ペーストに部分的な偏りがあり防食に付着不良部あり	防食ペーストのうすい部分に部く発錆
12-2-2	2 C	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・シート (2mm) + 発泡PE (10mm) + FRPPカバー (3mm)	FRPP面とは接着不良	同 上	杭上端部の塗装欠陥部からの流れ錆が防食層に流入して防食ペースト、防食テープとも若干黒変	カバー上端部付近でうすく発錆 他は異状なし
12-4	3 C	ベトロラタム・ペースト (0.5kg/m ²) + ベトロラタム・テープ (55%ワッ) + FRPライニング (2mm)	——	異状なし	異状なく良好	腐食なく良好

注①シーラー材は杭3 A、3 Cでは使用せず。

2.2 モネルクラッド鋼溶接部腐食原因調査 (研究テーマ1)

1990年度

(株) 日本製鋼所

要旨

- a. モネル材は溶接線に沿って局部腐食を生じ、2年5ヵ月後に干満帯の付着生物下で3mmのモネル被覆の貫通が確認された。
- b. 貫通部の顕微鏡観察および成分分析をともなう健全部との比較詳細調査の結果、試験材製作の溶接加工時にFeが多量に混入して成分が希釈され、これが原因で高温割れを生じ、ここが腐食の起点になったと推定された。

2.2.1 試験経過状況

1984年(昭和59年, 4月) 静岡県大井川町沖の海に入水

1985年(昭和60年, 8月) 1.5年後1回目の生物付着量測定(北側)

1987年(昭和62年, 8月) 3.5年後2回目の生物付着量測定(南側)

1989年(平成1年, 7月) 5.5年後3回目の生物付着量測定(北側)

2.2.2 調査目的

1990年(6年目)に海から引き上げてパイプの外観観察を行った所、溶接線に沿って、腐食があり一部貫通していて腐食度が非常に大きく割れが目視で観察されたため、試験を中止し、今回割れ部の調査を行った。

2.2.3 調査方法(写真は本要旨では省略)

モネル外面クラッドパイプの長手シーム溶接施工条件を表-2・1に、また表-2・2はクラッド鋼板の機械的性質を示す。

今回の、溶接金属部割れ調査を行ったパイプはNoA11-1のものであり、海から引き上げたときのクラッドパイプ外観写真を写真1.に示す。パイプは3箇所から切り出して調査を行なった。

切断後のパイプ外面および内面の外観状況を、写真2及び写真3、ならびに写真4に示す。図-2・1には、調査材の試験片採取要領を示しており、パイプ健全部と、欠陥のあったところを対象としてチェック分析、及び顕微鏡観察を行った。

2.2.4 調査結果

溶接金属のチェック分析結果を表-2・3に示す。当社でパイプ溶接後のチェック分析結果と、今回海から引き上げたパイプの健全部の溶接金属箇所の分析はNi, Cuはほとんど変わっていないが、Feが若干上下している。また、分析元素Ni, Cu, Fe, の3元素で健全部と欠陥近傍部を比較してみると、元素量が大幅に違っているのがわかる。特にFeの希釈量が通常4~6%に比べて割れ近傍では25%と非常に高い値となっている。

次に、健全部の顕微鏡観察結果を、写真5に示す。健全部の顕微鏡組織では、ボンド部に融合不良の箇所が一部認められた所もある。しかし、溶接金属部の割れは認められなかった。

また、欠陥部の顕微鏡観察は、写真6、写真7、写真9および写真10に示す。溶接金属の割れ近傍及び割れ部の顕微鏡組織観察結果では、溶接金属に割れが認められた。この割れは柱状晶粒界に沿って起こっているのがわかる。

また、モネル溶接金属の表面も柱状晶粒界に沿って内側に割れが進行している。(写真6、写真7、写真8参照)

割れ開口部ではデンドライト状に割れが進展しており、かなりのFe量の希釈が推定される。(写真7、写真8参照)

写真9、写真10は、表面より1/2 Tで切断した溶接金属の顕微鏡組織である。パイプの外側側及び内面側とも、割れの発生が認められた。割れは粒界に沿って起こっており、溶接重ねビート部に割れが多く発生している。これは高温割れ、あるいは次パスの熱サイクルによるものと考えられる。

図-2・2は高温割れのFe, Ni, Cu状態図を示す。今回、割れが発生した近傍のチェック分析から状態図を見ると高温割れ発生領域に入っている。

2.2.5 まとめ

以上の調査結果をまとめると次のようになる。

- (1) 今回のモネル溶接金属部の割れは顕微鏡観察結果より高温割れであると判明した。
- (2) チェック分析結果より判断すると、過去のデータからモネル溶接金属にFeが約20%程度まで混入しても高温割れ及び金属間化合物析出の恐れがないとされている(R (PL) 84-029参照)が、今回の溶接金属はFeが25%と非常に高くなっているためモネル溶接金属に高温割れが発生したものと思われる。
- (3) 溶接金属の外側より観察するとボンド部に割れが起こっているのが目視でわかり、内面(母材)まで進展している。ボンド部近傍に割れが発生したのはおそらくFe混入量の増大と、健全部で見られた融合不良等によるものと考えられる。
- (4) 今回の、溶接施工条件では高温割れが発生しない条件となっているが、割れの発生したところ(1 M 500 L)では施工条件が変わっていたのではないかと推定される。(要因として溶接速度および電流等)
- (5) 高温割れは、凝固時に形成された変化に富むデンドライト状の粒界が直線状になろうとして再び延性の低下が生じて割れが発生しやすくなる。(多層溶接時の再加熱部に見られる)

表-2.1 溶接施工条件

溶接位置	溶接方法	極性	溶接材料	電流 (Amp)	電圧 (Volt)	溶接速度 (Cm/min)	予熱バス間 (°C)	乾燥温度 (°C×1H)
合せ材 (NCuP)	被覆アーク溶接	DC/RP	UTP-80MMoD (3.25)	80~90	23	100~120	R.T.~100	100~150
母材 (SB42)	(注1) TIG溶接	DC/SP	TGS-50 (2.4)	130	14	80~100	R.T.~100	-
	(注2) 被覆アーク溶接	AC	LB-52	3.2 ϕ	120	24	R.T.~100	300~350
				4.0 ϕ	150	25	R.T.~100	300~350

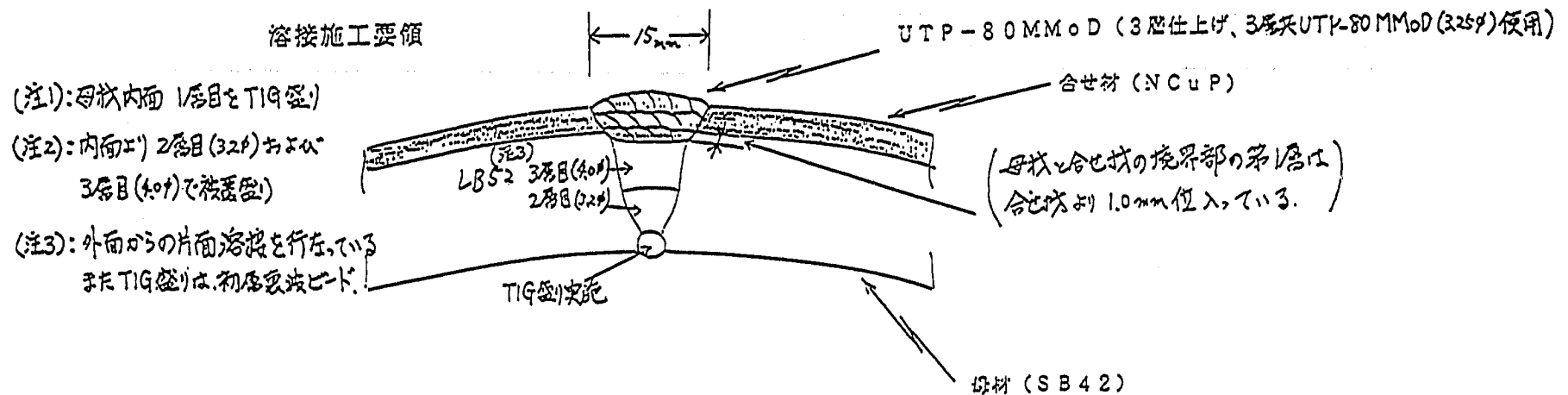


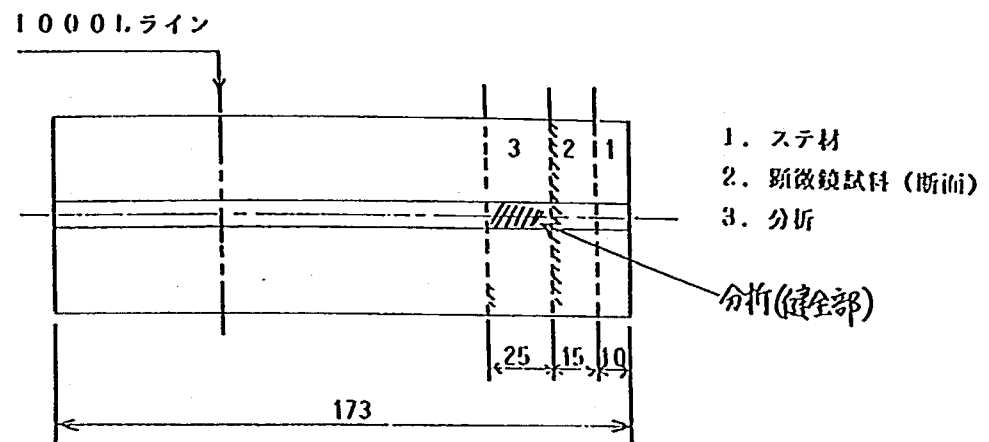
表-2.2 クラッド鋼板の機械的性質

試験片	採取位置	引張性質 *			**	*
		Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El. (%)	せん断強さ (kgf/mm ²)	曲げ試験 (J I S 1号)
Spec. (SB42)		23.0	42.0/56.0	21.0	20.0	180°xR ,R=1.0TR
合せ材 (NCuP) + 母材 (SB42)	Top	30.5	47.9	35.4	34.2	good
	Bottom	31.3	48.4	33.6	32.2	good
母材 (SB42)	Top	33.8	46.0	26.0	-	-
	Bottom	33.2	46.1	28.3	-	-

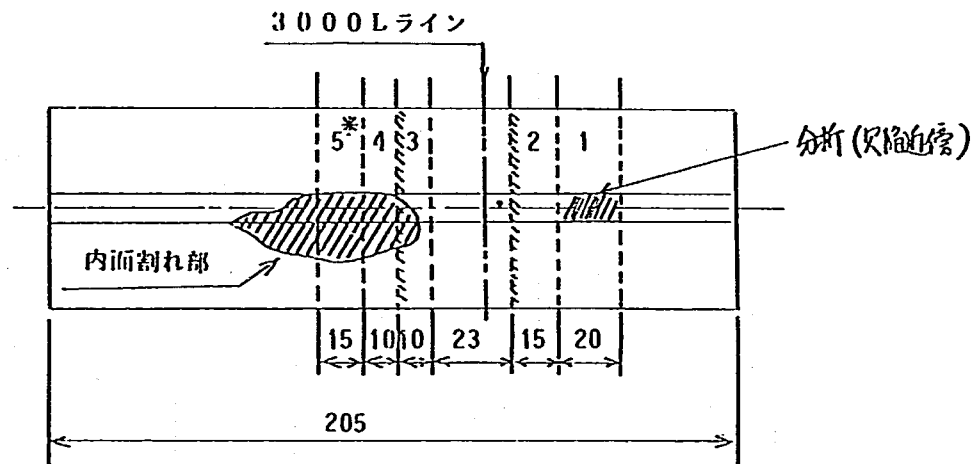
* : C方向

** : L方向

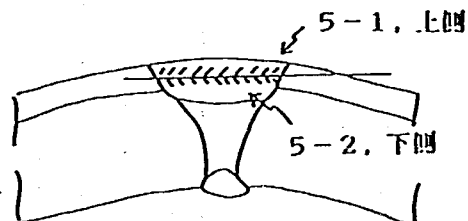
(1) 健全部の採取要領 (上側から1000Lの所)



(2) 欠陥部の採取要領 (上側から3000Lの所)



* 5. 溶接部1/2t (2層目観察)



1. 分析
2. 顕微鏡試料 (断面)
3. 顕微鏡試料 (断面)
4. 顕微鏡試料 (断面)
- * 5. 顕微鏡試料 (表面1/2t)

図-2.1 調査材の採取要領

表-2.3 化学成分結果

		化学成分 (wt. %)															
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Al	Nb	Ti	V	N	O	Fe
母材 (S B 4 2)	Spec.	≤0.24	$\frac{0.15}{0.30}$	≤0.90	≤0.035	≤0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Check.	0.10	0.25	0.71	0.006	0.005	0.10	0.07	0.13	0.03	0.008	<0.005	<0.005	<0.01	0.0091	0.0059	-
合せ材 (N C u P)	Spec.	≤0.30	≤0.50	≤2.00	-	≤0.024	$\frac{63.0}{70.0}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤2.5
	Check.	-	0.26	0.92	0.009	-	64.61	-	31.44	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	0.0006	0.0004	2.36
溶接材料 (U T P - 8 0 M M o D)		0.022	0.40	2.68	0.01	0.005	64.5	0.01	29.2	-	0.10	0.70	0.67	-	-	-	1.50
モネル溶接金属 (2 2 2 s s 健全部)		-	0.40	2.82	0.007	-	60.73	-	27.03	-	-	1.07	0.53	-	0.0021	0.0101	6.87
モネル溶接金属 (欠陥近傍部)		-	0.43	2.34	0.004	-	48.14	-	21.72	-	-	0.83	0.47	-	-	-	25.16
発注前の溶接金属		-	0.43	2.96	-	0.005	60.43	-	28.16	-	-	1.07	0.07	-	-	-	4.62

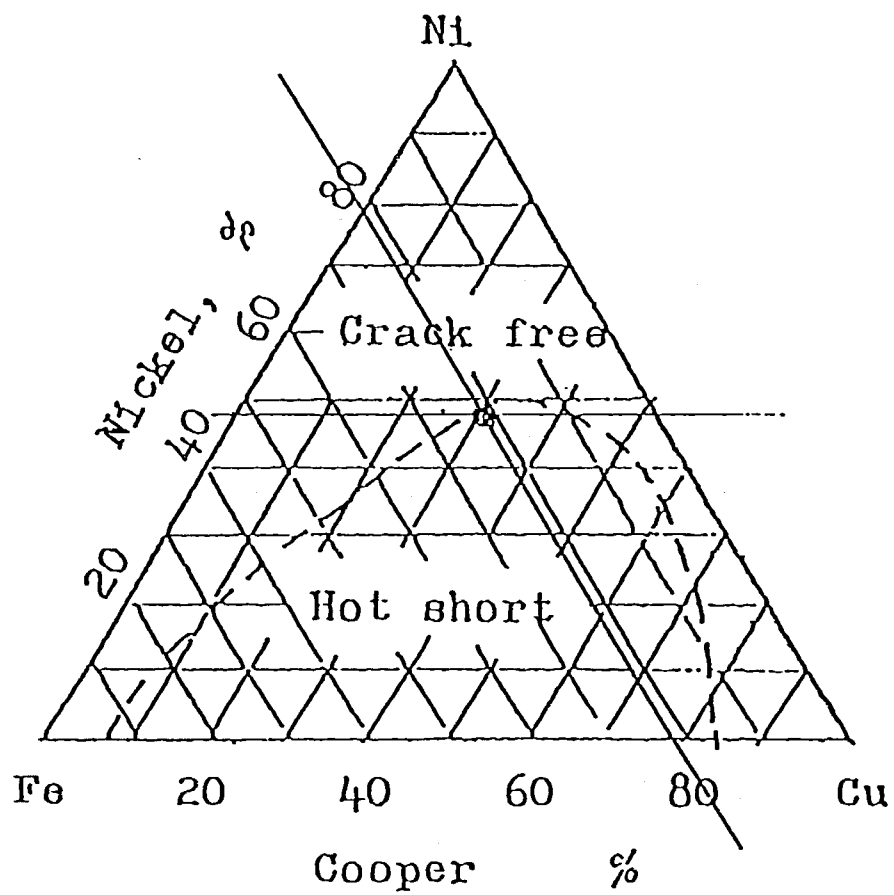


図-2.2 高温割れのFe-Ni-Cu状態図

2.3 SUS316鋼隙間原因調査 (研究テーマ1)

1990年度

(株)住友金属工業株式会社

(株)ナカボーテック

要旨

- a. 5年5ヵ月暴露後の回収材で付着した貝類の下に多数の隙間腐食が確認され、溶接線の3ヵ所(干満帯で2ヵ所、海中部で1ヵ所)で厚さ3mmを貫通していた。
- b. 干満帯、海中部に多数の隙間腐食があり、とくに溶接部に集中していた。人工隙間は付与していないのですべて付着生物下である。
- c. 隙間腐食は大きさ、深さとも母材部より溶接部の方が大きい傾向があった。
- d. 溶接部および母材部の金属成分分析、組織検査、電位(腐食電位、孔食電位、隙間腐食発生電位)測定等にはとくに腐食を促進する原因を見出せなかった。

2.3.1 はじめに

大井川河口沖の建設省総合研究施設に暴露しているSUS316L鋼板を巻いて溶接した被覆鋼管の供試材を今回(1989.7月:暴露5.5年経過)回収し外観観察をしたところ、次のような局部腐食が認められた。(図-3・1参照)

- ① 溶接ビード上3箇所に素管(内管STPG38)に達する孔食
- ② 溶接ビード(約60mm幅)で貝付着の下に隙間腐食多数(深さ:0.2~1mm)
- ③ SUS母材表面にも隙間腐食、但し個数は少

以上の様に溶接部の方が母材部に比べ隙間腐食の発生が多かったので原因調査のため解体調査を行った。結果を以下に報告する。なお、本要旨では写真は省略した。

2.3.2 試験方法

2.3.2.1 供試材

(1) 製作手順

内管(STPG38)にSUS316L鋼板を巻製作した。製作手順を表-3・1に示す。尚、用いた内管及び外管(SUS316L)の成分分析結果を表-3・2に示す。

表-3・1 SUS316L鋼板巻鋼管 製作手順

	工 程	内 容
1	素 管 (内管)	S T P G 3 8 素管の外周測定
2	被覆鋼板の切断	素管外周寸法にあわせて切断
3	被覆鋼板の巻加工	
4	締め付け	締め付けバンドを用いて締め密着
5	溶 接	T I G 溶接
6	溶接ビード処理	グラインダー処理後#120羽布仕上げ
7	カラーチェック	溶接部全線施工
8	盲板取り付け	T I G カラーチェック
9	酸 洗	弗硝酸の混合液で酸洗後完全水洗

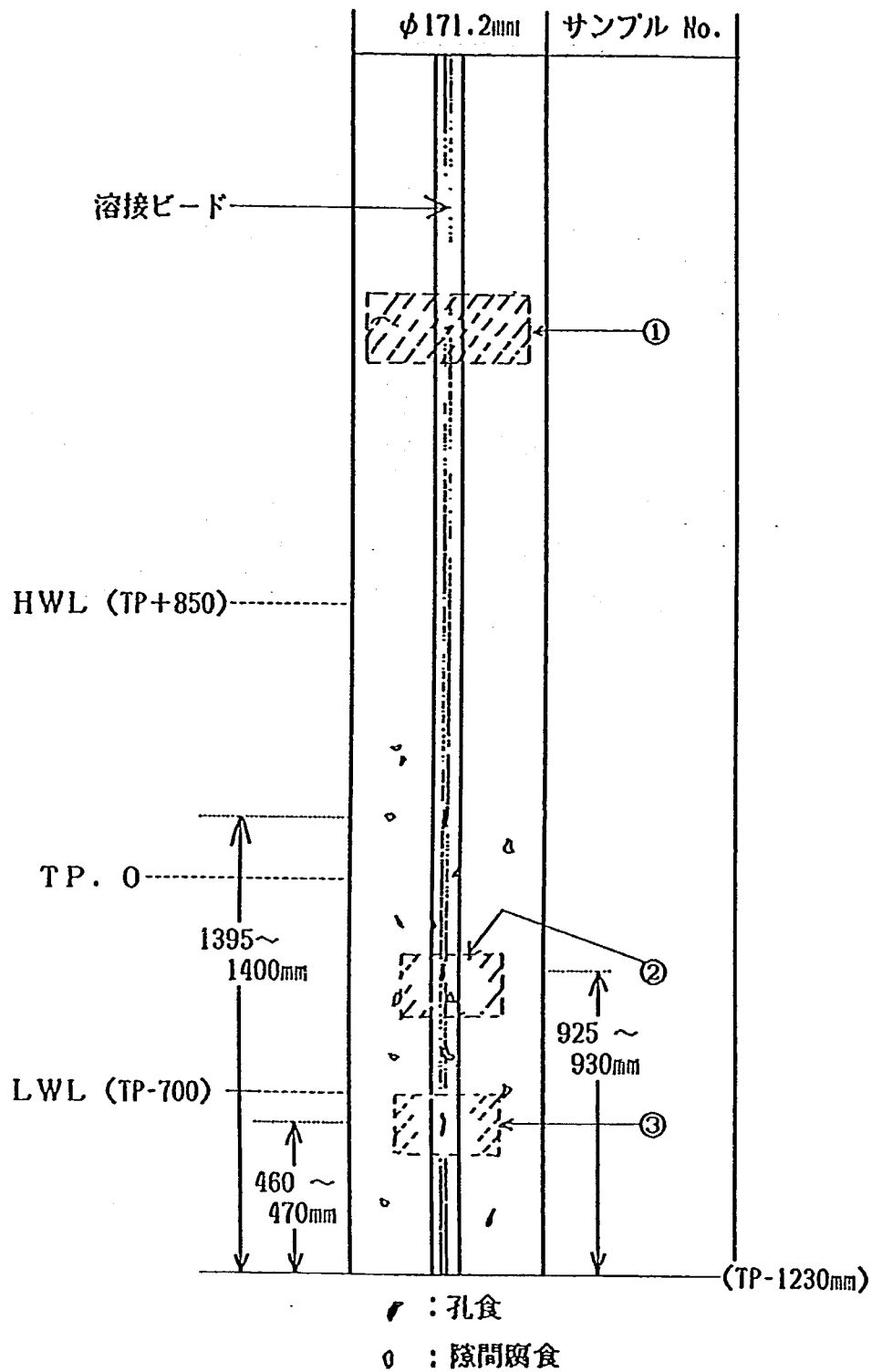


図-3・1 供試材の腐食状況と試験片採取位置

表-3・2 供試体の化学成分

供 試 材		化 学 成 分 (Wt%)							
		C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o
SUS316L (外管)	J I S規格	≤0.030	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.03	12.00 ~ 15.00	16.00 ~ 18.00	2.00 ~ 3.00
	分 析 値	0.016	0.69	1.15	0.032	0.001	12.17	16.91	2.01
STPG38 (内管)	J I S規格	≤0.25	≤0.35	0.30 ~ 0.90	≤0.040	≤0.040	—	—	—
	分 析 値	0.21	0.18	0.49	0.025	0.017	—	—	—

(2) 溶接条件

溶接は、初層（異材溶接部）は日本ウェル㈱製 WEL,TIG 309 MoL 溶接棒を、二層目以降はWEL,TIG 316L 溶接棒を使用。表-3・3に使用した溶接棒の成分を示す。

表-3・3 溶着金属成分

溶 接 棒	化 学 成 分 (Wt%)							
	C	S i	M n	P	S	N i	C r	M o
' 309Mo	≤0.12	≤0.65	1.0 ~ 2.5	≤0.03	≤0.03	12.0 ~ 14.0	23.0 ~ 25.0	2.0 ~ 3.0
316L	≤0.030	≤0.65	1.0 ~ 2.5	≤0.03	≤0.03	11.0 ~ 14.0	18.0 ~ 20.0	2.0 ~ 3.0

2.3.2.2 試験片採取要領

供試材からの試験片採取位置を図-3・1、試験片の採取要領を表-3・4に示す。

表-3・4 試験片の採取要領

試験片No	採 取 要 領
①- 1 - 2 - 3	飛沫帯より健全な部分を切り取る
②	干満帯の孔食を含む部分
③	没水部の孔食を含む部分

2.3.2.3 調査項目及び方法

(1) 外観観察

切り出された試験片の外面、内面および外管と内管の合わせ面の腐食状況を観察し、併せて写真撮影を実施する。

(2) 元素分析

①- 1～①- 3 のSUS316L外管の溶接部および母材部の板厚方向の元素の分布を調べる

1) 面分析

溶接金属部、溶接熱影響部および母材部のFe、Cr、MoおよびNiの分布をマッピングアナライザーで面分析する。

2) 線分析

溶接金属部中心及び母材部の全板厚方向のEPMA線分析をFe, Cr, MoおよびNiについて行なう。

3) 化学分析

①- 1 のSUS316L外管溶接金属部および母材部より切粉を採取し、Fe、Cr、MoおよびNiについて化学分析を行なう。

(3) 断面観察

1) マクロ観察

①- 3 (建全部) の溶接部および②の孔食貫通部より試料を円周方向に、③の孔食貫通部を管軸方向に試料を切り出し、研磨後マクロエッチ腐食し、撮影する。

2) ミクロ観察

①-2 (健全部) および②の正常部の溶接部より円周方向に試料を切り出し、研磨後マイクロエッチ腐食し、外管表面の溶接金属部、溶接熱影響部および溶接境界部と、外管肉厚中心の溶接金属部、溶接熱影響部、溶接境界部および母材部とを100倍で写真撮影する。

(4) 電気化学的測定

1) 腐食電位

図-3・2の試験片を製作し測定する。測定条件を表-3・5にしめた。

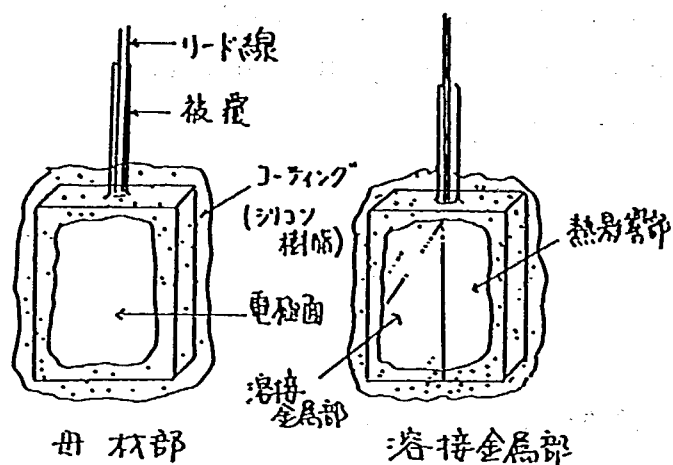


図-3.2 試験片形状（腐食電位、孔食電位）

表-3.5 腐食電位測定条件

項目	条件
溶 液	人工海水
温 度	30℃（大気開放）
測 定	100hr連続測定

2) 孔食電位（JIS G0575準拠）

試験片は、図-3.2と同等の形状のものとし、未測定部のシール（シリコン樹脂コーティング）処理前に、不動態化処理をし浸漬直前に再研磨（エメリ研磨紙－＃600）する。その他の条件を表-3.6に示す。

表-3.6 孔食電位測定条件

項目	条件
溶 液	人工海水
温 度	30℃
電位掃引速度	20mv/min
その他	不動態処理を行う

3) 隙間腐食電位測定

試験片は図-3.3に示した形状の物を作成し、動電位法にて隙間腐食発生電位（ V'_{crev} ）を測定する。測定条件を表-3.7に示す。

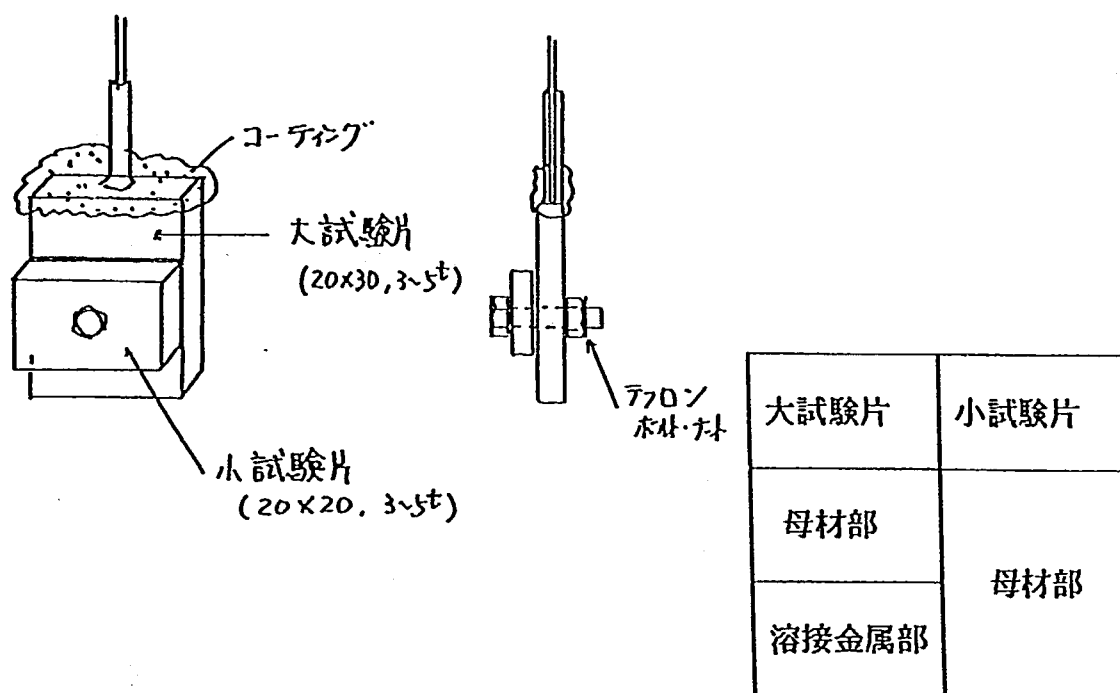


図-3.3 隙間腐食発生電位測定試験片

表-3.7 隙間腐食発生電位測定条件

項 目	条 件
溶 液	天然海水
温 度	30℃
電位掃引速度	・行き：10mv/min ・電流値500μAを越えた時の電位で10分間保持 ・帰り：5mv/min
その他	・不動態化処理後エメリー # 600で研磨

2.3.3 結果及び考察

2.3.3.1 外観観察

試験片の外面、内面および外管と内管の合わせ面の外観を写真-3.1~3.3に示す。各試験片とも内面は全面錆面を呈し、内面に海水が浸入していた様子が見られた。飛沫帯 (①) の合わせ面は若干錆が見られるものの、金属光沢を残している面が大部分である。干満帯に見られた孔食部 (②) および没水帯で見られた孔食部 (③) は貫通し、合わせ面が貫通孔より浸入した海水により若干腐食していた。

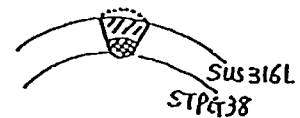
2.3.3.2 元素分析

(1) 面分析

試験片溶接部のマッピングアナライザーによる元素分析結果を図（略）に示した。これより溶接金属部と母材部との元素の含有程度を比較し表-3・8に示した。同表から明らかなように、溶接金属中に含まれる耐食性向上元素のいずれをとっても海水に接する上盛り側で母材と同程度であり、むしろCrは、溶接金属部（上盛下盛とも）の方が母材部よりも多く含有されていることが読取れる。

表-3・8 溶接金属中の元素の多寡（母材と比較）

サンプルNo	元 素		
	Cr	Mo	Ni
①-1	多	同程度	同程度
①-2	多多	同程度少	同程度少
①-3	多多	同程度少	同程度少



※二段になってあるものは、上段：上盛、下段：下盛

(2) 線分析

溶接金属部中心および母材部の線分析結果を図（略）に示す。

図より明らかなように母材部の深さ方向の元素分布はほとんど均一で元素の偏析は見られない。また、溶接金属部の表面近傍の元素分析の偏析は、母材部同様ほとんど見られなかった。

(3) 化学分析

溶接金属部および母材部の化学分析結果を表-3・9に示す。表より、溶接金属部のCr含有量は母材部に比較して1.8%多く、逆にMo, Niは、それぞれ母材よりも0.1%, 0.6%少ない。この様に、Cr濃度が大きNiおよびMo濃度が少ない等元素により効果の影響に違いが考えられる。一般にCr、Mo、Niの各元素が共存する場合の効果については、 $(Cr+3Mo)$ の値を耐孔食性の指標とすることが出来ることから、この値を比較して共存効果について調べた。この値を表-3・10に示した。この値より、耐孔食性については、溶接金属部の方が母材部より優れていると考えられる。

表-3・9 溶接金属部および母材部の化学分析結果

サンプル No	採取位置	化 学 成 分 8 (Wt%)			
		F e	C r	M o	N i
	J I S規格	Balance	16.00 ~18.00	2.00 ~ 3.00	12.00 ~15.00
①- 1	母 材 部	64.9	17.02	1.98	12.12
	溶接金属部	63.9	18.81	1.87	11.48

表-3・10 成分による耐孔食性の比較

サンプル No	採 取 位 置	C r + 3 M o
①- 1	母材部	2 2 . 9 6
	溶接金属部	2 4 . 4 2

2.3.3.3 断面観察

(1) 断面マクロ観察

正常部 (①- 3)、孔食部 (②) の横断面および孔食部 (③) の縦断面のマクロ組織を写真-3・4示す。横断面 (②) 及び縦断面 (③) 共、孔食は貫通し内管のSTPG38も腐食し孔が開いている。また、横断面 (②) 貫通孔は横への拡がりはなく母材部の腐食は見られない。

内管の炭素鋼の腐食は外管との接合面が最も進展していることがわかる。

(2) ミクロ組織の観察

健全部 (1-②) および孔食部 (②) の正常な部分の表面近傍および肉厚中心のミクロ組織を写真-3・5 ~ 3・6に示す。写真より、母材部は通常のオーステナイト組織を示し、溶接金属部は柱状晶で二相を呈しているが、熱影響による組織の異常は見られない。

2.3.3.4 電気化学的測定

(1) 腐食電位

腐食電位の測定結果を表-3・11に示した。電位の結果から見ると、溶接部と母材部との差は見られない。

表-3・11 腐食電位 (mV:SCE)

測定時間	溶 接 部	母 材 部
浸漬直後	- 1 3 3	- 1 1 7
25時間	- 1 4	- 1 5
50時間	- 7	- 8
75時間	- 5	- 5
100時間	- 4	- 5

(2) 孔食電位

孔食電位測定結果を表-3・12に示した。表より孔食電位 (V'_{c10}) を比較すると、溶接部の方が約40mV貴な電位を示していることから、若干耐孔食性には優れていると考えられる。これは、成分分析結果から推定した耐孔食性 (Cr+3Mo) とも一致している。

表-3・12 孔食電位 (mV:SCE)

試験片 No		V'_{c10}	V'_{c100}
溶接部	W 1	+ 4 4 2	+ 4 5 7
	W 2	+ 4 5 0	+ 4 5 4
母材部	1	+ 4 3 2	+ 4 3 2
	2	+ 4 1 0	+ 4 1 4

(3) 隙間腐食電位

動電位法により隙間腐食発生電位 (V'_{crev}) を測定した結果の一部を図 (略) に示した。また各々の測定結果より隙間腐食発生電位 (V'_{crev}) を表-3・13にまとめた。表から明らかなように隙間腐食発生電位 (V'_{crev}) は、ほとんど変わらない。このことから、隙間腐食に対しては、溶接材と母材部との差異はほとんどないと考えられる。

表-3・13 隙間腐食発生電位 (mV:SCE)

試験片 No		V'_{crev} (mv)
母材部	SK-1	- 1 9 0
	SK-2	- 2 0 0
溶接部	SK-W12	- 1 7 0
	SK-W13A	- 1 8 0

2.3.4 まとめ

炭素鋼鋼管にSUS316L鋼板を巻いて溶接した被覆鋼管を大井川河口沖で5年5ヵ月間暴露したところ貝の下で多数の隙間腐食が観察された。特に溶接ビート上には素管に達する孔食が3箇所観察されたことから、母材部と溶接金属部に何らかの相違が考えられるため、調査を行った結果、以下の事が明らかになった。

- (1) 飛沫帯より切り出した試験片の外管 (SUS316L) の溶接金属部および母材部表面の面分析および線分析においても溶接金属部の成分の偏析もなく母材部と同等である。
- (2) 成分分析結果から外管の溶接金属部のCr含有量は18.8%、母材部は17.0%で溶接金属部の方が1.8%も多い。また、成分から耐孔食性 (Cr+3Mo) を評価すると溶接金属部の方が母材部より若干優れていると考えられる。
- (3) 母材部のミクロ組織は通常見られるオーステナイト組織であり、溶接金属部は柱状晶で二相となっている。
- (4) 電気化学的測定において、溶接金属部と母材部との腐食電位は差異がない。
- (5) 孔食電位では、溶接金属部の方が貴であり、耐孔食性には母材部より若干優れている。
- (6) 隙間腐食発生電位は、溶接金属部と母材部とに差はない。

以上の結果から、溶接金属部は成分的にも、電気化学的な測定においても特にSUS母材との違いは見られなかった。従って、そのほかの要因としては表面粗さ (溶接部のみ研磨) による海中生物の付着し易さなども考えられる。しかし、今回の回収材では明確な判断はできない。今後、継続して暴露している同様の供試材に注目したい。

以 上

2.4 厚膜エポキシ樹脂塗膜におけるピンホール発生原因調査 (研究テーマ3)

1990年度

関西ペイント株式会社

要旨

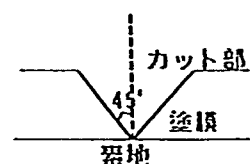
- a. 施設本体の2A-3Aおよび1C-2Cの水平材に塗装された仕様№6 (有機ジンクリッチペイント $15\mu\text{m}$ + エポキシ樹脂塗料 $2,000\mu\text{m}$) においてピンホールが経年的に増加し、5年5ヵ月後の調査では急増した。しかし、塗膜のふくれ、はがれ、さび等は認められなかった。なお、この水平材は第3デッキの一部で作業者や見学者の歩行がさけられない。
- b. 6年5ヵ月後にピンホール検査を行うとともに、膜厚および表面粗さを測定した。また塗膜断面を観察した。その結果、ピンホールは平均膜厚が小さく、表面粗さの大きい場合に発生する傾向があり、今回のピンホールは膜厚標準値の60%以下の箇所に発生と判断された。
- c. この膜厚不足は表面粗さと関係があり、表面の凹凸を平滑にすれば回避できたものと考えられ、再発防止対策としてはローラーがけを標準化した。

2.4.1 調査要領

- (1) 調査日：平成2年7月30日 (月) 天候 晴
- (2) 調査者：関西ペイント(株)建設塗料本部 研究部 村松、藤田
同 技術部 糟谷、平林
- (3) 調査部位：施設本体 ① 3A直立材
② 2A-3A水平部材
③ 1C-2C水平部材
- (4) 塗装仕様：№6 有機ジンクリッチプライマー ($15\mu\text{m}$) + エポキシ ($2000\mu\text{m}$)

(5) 調査内容：

調査項目	内 容
①外観調査	さび、ふくれ、はがれ、その他の特異状態を調査。 調査方法はASTMまたは財団法人日本塗料検査協会の基準写真と比較。 特徴的な部分は写真で記録。
②ピンホール試験	ホリスターⅡ（サンコウ電子研究所）を使用し5KVでのピンホール状況を調査。さらにピンホール発生部分は何の程度の電圧でピンホールが発生するかを調査。
③塗膜厚調査	電磁微厚計（サンコウSL-2C）によって膜厚を調査。特にピンホール発生の有無での膜厚差を調査。
④表面粗さ	ビスラ表面粗さ計において、距離5cm毎の最大表面粗さを調査。 表面の最大粗さによって表面状態の違いを調査し、塗膜の有効性を判断。
⑤塗膜断面の観察	塗膜を45°の角度で素地までカットして塗膜の断面を観察。 表面状態と有効膜厚の調査。



2.4.2 調査結果

(1) 外観調査：今回の調査で、さび、ふくれ、はがれの発生はなく、良好な防食性が維持されている。（記録写真-4・1～4・11参照）

(2) ピンホール試験：過去の5ヵ年の正式調査は下表のとおりであり、

	部 位	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
塗装系 No. 6	3A直立材	なし					
	2A-3A水平材	なし			2ヵ所	6ヵ所	35ヵ所
	1C-2C水平材	なし	1ヵ所	1ヵ所	1ヵ所	6ヵ所	34ヵ所

今回の5KVでの調査結果はほぼ1989年度（5年経過）と同じ結果であった。また、ピンホールの発生している部分は1.5～2KVの低い電圧でピンホールが再現する。

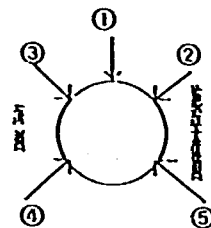
(3) 塗膜厚調査：各部位ごとの膜厚結果

1) 3A直立材（詳細は資料-4・1、記録写真-4・6を参照）

今回測定平均膜厚	ピンホール数	初期の平均膜厚
2940 μm	0	2804 μm

2) 2 A - 3 A 水平材 (詳細は資料-4・2、記録写真-4・1~6を参照)

	今回測定平均膜厚 (対標準膜厚比)	ピンホール数	初期の平均膜厚
①	2590 μm (129%)	2	3350 μm
②	2370 μm (118%)	2	測定対象外
③	1650 μm (82%)	17	測定対象外
④	3030 μm (150%)	0	測定対象外
⑤	3000 μm (149%)	0	測定対象外
全体	2330 μm (116%)	21**	3176 μm

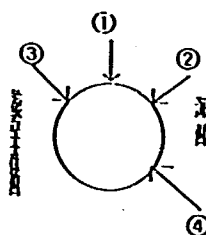


*塗装仕様№6の標準膜厚2015 μm に対して。 **エッジ部分のピンホールは除外した。

ピンホール発生部の平均膜厚 : 1160 μm (標準膜厚に対して58%)

3) 1 C - 2 C 水平材 (詳細は測定データ2を参照)

	今回測定平均膜厚 (対標準膜厚比)	ピンホール数	初期の平均膜厚
①	1520 μm (75%)	10	1763 μm
②	1560 μm (77%)	5	測定対象外
③	1590 μm (79%)	2	測定対象外
④	2740 μm (150%)	0	測定対象外
全体	1850 μm (116%)	17	2540 μm



*塗装仕様№6の標準膜厚2015 μm に対して。

ピンホール発生部の平均膜厚 : 1130 μm (標準膜厚に対して56%)

(4) 表面粗さ

各部位ごとの最大表面粗さは下表のとおりである。(詳細は資料-4・4を参照)

最大表面粗さ			
2 A - 3 A 水平部材		C 1 - C 2 水平部材	
①	1570 μm	①	1750 μm
②	1750 μm	②	1870 μm
③	1460 μm	③	1680 μm
④	800 μm	④	680 μm
⑤	990 μm		

2 A 直立材は測定せず。

(5) 塗膜断面の観察

2 A - 3 A 水平部材の塗膜厚の違う 3 ヲ所を代表として塗膜断面を調査。

観察部位	周辺の膜厚 (最大表面粗さ)	塗膜断面の状態	記 録 写 真
ピンホール発生部分 (測定データ 1 の① a の部分)	1100~1300 μm (1790 μm)	ピンホールの確認される部分の断面には、大きな泡が存在した。さらに表面の凸凹によって膜厚のバラツキが大きく、その断面の平均膜厚は標準に近いが、薄いところでは規定の半分の 1 mm 程度の部分も確認される。膜厚が薄さと表面粗さの大きさにより有効な膜厚が確保されていない。	- 1 2 - 1 3
健全な部分 (測定データ 1 の① b の部分)	3700~3900 μm (1750 μm)	表面の凸凹はピンホール発生部分と差がない。しかし、塗膜厚は十分であり、2500~3500 μm の膜厚が確保されている。	- 1 4 - 1 5
健全な部分 (測定データ 1 の① c の部分)	2300~2500 μm (1160 μm)	膜厚は標準の 2000 μm であるが、表面粗さが小さいために膜厚が均一になっている。基本的には、この塗料はこのような塗膜状態を期待している。	- 1 6 - 1 7

2.4.3 結果のまとめ

今回の調査からピンホール発生数と塗膜厚および表面粗さの関係を示すと下図のとおりとなる。

この図より、ピンホールは、平均膜厚が薄く、表面粗さの大きい場合に発生する傾向がある。特に平均膜厚が標準膜厚の 2015 μm をかなり下まわった場合に危険性がある。

今回の結果から、完全にピンホールを防ぐには平均膜厚を 2500 μm 以上、最大表面粗さを 1400 μm 以下にする必要がある。

結果のまとめとして、ピンホールの直接の原因は塗膜厚の不足によるものであり、ピンホール発生部分の膜厚は標準値の約 60% 以下と判断する。
この膜厚不足は表面粗さと関係があり、90度~270度に見られるように表面の凸凹を平滑にすれば、より均一な塗膜厚が確保でき、問題は回避できたと判断する。

2.4.4 結果の考察

(1) 膜厚不足の部分が何故生じたか。

まずは膜厚データの測定に問題があった。初期の膜厚管理の測定対象は 0、90、180、270 度の 4 点であり、(資料-4.5~4.7 参照) 問題の多かった 45 度と 315 度の周辺が測定対象外であり、この部分のデータ不足により膜厚不足を見逃した。さらに、塗膜の断面観察でもわかるように、平均的に膜厚が薄い部分でも表面の凸部の膜厚は標準膜厚以上が確保されており、膜厚の自主管理ではこの部分の膜厚を代表値として

判断してしまった可能性もある。逆に言えば表面の凹凸が激しいと、極端に薄い膜厚部分を見つけることのほうが困難である。さらに初期のピンホール試験で問題がなかったこともそのままになった理由のひとつと思われる。(ピンホールがあればその周辺は補修しているだろう) これらが膜厚不足を生じた理由と考える。

(2) 初期でのピンホール検査で問題なく、経年によって増加した理由

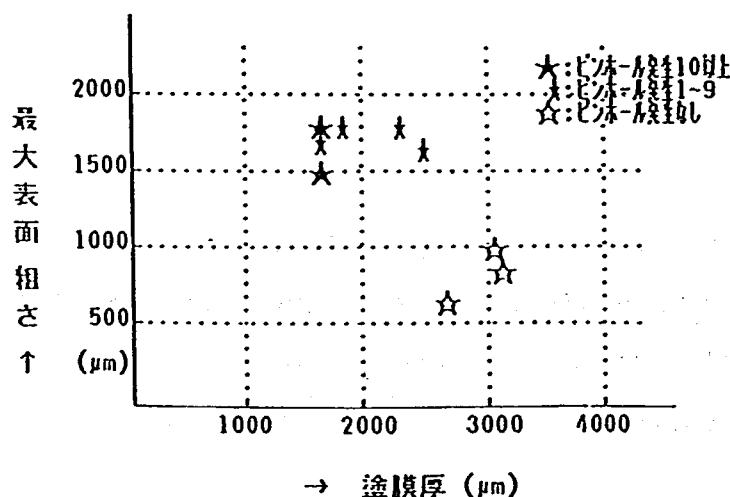
まず事実として初期段階でのピンホールは問題がなく、経年によってピンホールが増えている。この点については明確な見解は出せないが、ひとつの推定モデルで考えてみる。塗装直後の塗膜表面には乾燥過程で樹脂クリア層が形成される。当然、膜厚の薄い部分やピンホールの部分でもこのクリア層は形成する。ピンホールの部分ではこのクリア層が蓋をした形となり、このクリア層のおかげで、初期のピンホール試験に合格したと推定する。しかしながら、このエポキシクリア層は耐候性が悪く、長期間の紫外線や海水などによって白亜化し消耗する。この消耗によってピンホールなどは蓋がとれてしまい、有効な塗膜としての機能が失われてピンホール試験に耐えられなくなったと推定する。特に、膜厚が薄い部分では表面のクリア層が薄く、消耗が速くなる。さらに表面の凹凸が大きい部分はピンホールが多くなることから、今回の調査で膜厚不足と表面の凹凸の大きな部分でピンホールが多いという結果とよく合致している。

これ以外にも、膜厚が薄いにもかかわらず、高い電圧での繰返しのピンホール試験が行われ、これによって塗膜が破壊されたことも考えられる。

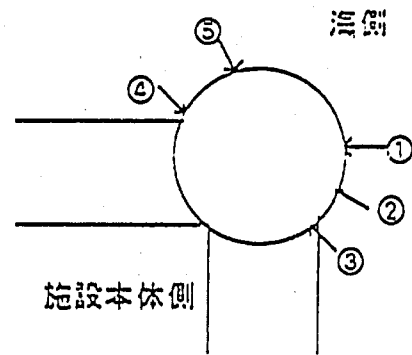
(3) 対策

このタイプの塗料は、当初の設計ではスプレー塗装によって生じる比較的小さな凹凸を容認する方向(塗膜の断面観察のc①の部分を標準としてきた。)で検討されてきたが、実際の工事においては、塗装者の技能や被塗物の形状、施工環境などによって容認できる凹凸になかなかコントロールできず、現在ではスプレー塗装後、表面をローラーなどによって平滑にする工程を基準としており、今回のような問題はなくなっている。

以 上



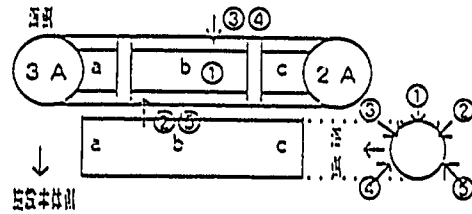
試料-4・1 3 A直立材の部位別の膜厚とピンホール状況



部位	膜厚測定値		ピンホール	初期膜厚
①	3800	2600	0	—
②	2400	1800	0	
③	3500	3000	0	
④	2800	2600	0	
⑤	1900	4000	0	
平均	2840		0	2804

単位: μm

試料-4-2 2 A - 3 A 水平部材の部位別の膜厚とピンホール状況



各部位の膜厚と平均膜厚[μm] ()ピンホール数

部位	a	b	c	平均	初期膜厚
3 A	① 2460(2)	2780(0)	2240(0)	2590(2)	3350
	② 2140(1)	2680(1)	1790(0)	2370(2)	測定外
	③ 1430(5)	1780(8)	1520(4)	1650(17)	測定外
	④ 3360(0)	2930(0)	2950(0)	3030(0)	測定外
	⑤ 3320(0)	3090(0)	2330(0)	3000(0)	測定外
				2330(21)	3170

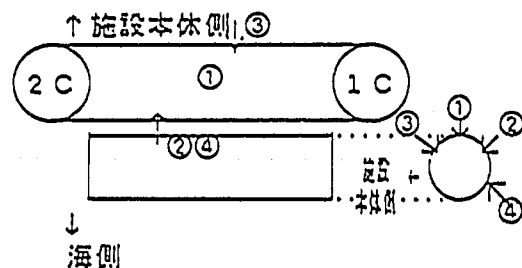
3 A 各部位の膜厚生データ 2 A

	a	b	c	
④	30.32.32.38.36.	32.34.36.40.36.32.28.27.28.19.24.23.22	32.24.32.30	④
	19.13.17.22.18.19	22.20.19.16.23.18.22.18.18.17.12.24.11.10.14.21	14.17.14.16.17.19	
③	14.14.10.13.11.14	18.17.12.11.12.16.24.20.19.24.12.20.11.10.19.17	16.15.10.14.14.13	③
	15.18.12.12.16.11	19.16.20.19.24.23.23.11.15.20.22.25.20.16.11.16	12.17.11.14.20.21	
	30.30.32.29.25.18	23.21.23.24.21.19.28.24.29.36.32.24.29.29.25.20	24.22.19.26.27.27	
①	31.31.22.18.22.31	27.22.25.26.30.24.26.31.25.34.35.30.32.33.30.31	18.21.21.25.23.25	①
	11.13.25.21.23.27	26.19.32.20.22.21.21.29.34.39.37.38.30.32.33.33	23.18.16.30.16.22	
	18.16.16.16.28.20	18.14.21.20.24.18.22.25.24.32.31.34.36.27.22.22	17.20.17.17.17.28	
②	16.25.18.23.24.27	24.25.25.19.32.29.34.29.24.32.36.30.26.26.19.24	20.16.16.16.18.23	②
	21.22.20.24.21.29.	25.23.28.42.16.24.34.32.28.29.29.33.43.29.18.26	14.18.15.15.14.21	
⑤	22.30.32.42.40	28.27.36.30.28.28.34.38.34.25.36.26.30	22.18.28.25	⑤

単位 : ×100μm

☒ : ピンホール発生箇所

試料-4・3 1 C - 2 C 水平部材の部位別の膜厚とピンホール状況



各部位の平均膜厚 [単位: μm]

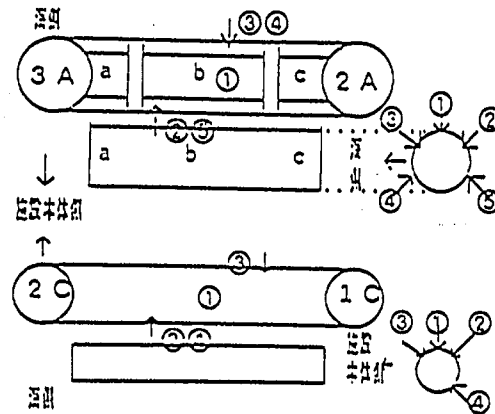
部位	膜厚	初期膜厚
2 C	① 1520 (10)	1763
	② 1560 (5)	
	③ 1590 (2)	
	④ 2740 (0)	
平均	1850 (17)	2538

2 C		部位別の膜厚生データ		1 A	
③	13.15.16.15.12.21.17.13.14.10.10.21.22.18.17.15.19.14.12.16.26.12.16.20.9.16.18.11.15.18.16.17.21	③		③	
①	16.10.15.13.13.13.8.21.16.18.15.17.22.18.11.15.24.14.14.11.16.17.14.21.10.12.21.13.17.11.17.14.16	①		①	
②	20.17.14.13.16.16.16.15.16.16.16.16.15.15.13.14.15.23.15.15.16.19.26.25.18.13.14.11.12.9.12.11.13	②		②	
④	16.27.23.22.25.32.28.20.14.20.22.29.29.26.26.40.40.34.31.34.35.28.23.28.30.28.30.28.30.28.31.20	④		④	

単位: ×100μm

□: ピンホール発生箇所

資料-4.4 各部位の最大表面粗さ



各部位の最大表面粗さ[単位: μm]

3 A - 2 A				
部位	a	b	c	平均
①	1790	1750	1160	1570
②	2080	1670	1510	1750
③	1670	1840	870	1460
④	800			800
⑤	990			990

1 C - 2 C	
部位	
①	1750
②	1670
③	1680
④	680

最大表面粗さ生データ

2 A - 3 A 水平部材				
2A	a	b	c	3A
④	7. 9. 8. 7. 9.10. 7. 7. 8. 8			④
③	16.14.17.15.19 11.20.20.20.15	19.25.31.17.15 15.14.17.16.15	7. 9. 4. 8.10 6.11. 7.12.13	⑤
	19.19.18.20.13	15.15.18.19.20	11.09.10. 8. 9	
①	17.14.20.18.21	19.18.17.15.19	17.10.12.11.19	①
	15.19.23.20.14	13.17.18.17.17	16.16.13.15.19	
②	26.26.25.22.18	17.17.19.15.17	17.18.13.11.13	②
⑤	10.11. 7. 9.11.10.11.10.11. 9			⑤

単位: $\times 100\mu\text{m}$

1 C - 2 C 水平部材		
部位		部位
③	17.22.19.22.21.18.14.18.16.23 15.18.15.15.13.14.16.17.19.21	③
①	15.23.14.20.19.15.21.16.19.18 19.22.10.16.21.13.17.18.17.17	①
②	15.14.19.21.19.20.18.23.16.13 23.20.15.16.18.23.22.20.24.15	②
④	11. 8.10.10.12.11. 9.12.12.13 4. 4. 3.10.'7 '6 3.'2 1.'6	④

単位: $\times 100\mu\text{m}$ ' = 0.X

2.5 厚膜エポキシ樹脂塗膜調査 (研究テーマ3)

1990年度

関西ペイント株式会社

要旨

- a. 施設本体の直立杭3Aに塗装された防食仕様No.6 (有機ジンクリッチペイント15 μ m+エポキシ樹脂塗料2,000 μ m)を対象に、6年5ヵ月経過後の塗膜調査を実施した。
- b. 調査対象部位として飛沫帯1ヵ所、干満帯内の上下2ヵ所をえらんだ。
- c. ふくれ、はがれ、さびなどの目視確認、スクレーパー圧入による付着性テスト、塗膜の浮きをチェックする打診テストなどの結果、とくに異状は認められず、良好な状態を維持していた。

2.5.1 調査日

1990年7月30日 (約6.5ヶ年経過)

2.5.2 調査部位

- ① 部材 : 施設本体3A直立材
- ② 箇所 : 飛沫帯 +850~+2097
干満帯上部 +300~+850
干満帯下部 -300~-1150

2.5.3 塗装施工履歴

- ① 施工日 : 1984年1月
- ② 現地架設日 : 1984年3月
- ③ 塗装仕様

工程	品 名	塗膜厚 (μ)
素地調整	サンドブラスト処理 SIS Sa2 1/2	
第1層目	有機質ジンクリッチプライマー (SDジンク 100)	15
第2層目	エポキシ樹脂被覆材料 (ナブコバリヤー2M)	2000

2.5.4 調査部位と調査項目

部 位	調 査 項 目					
	さび	ふくれ	はがれ	付着性	打診テスト	その他特異現象
飛沫帯 +850～ +2097	○	○	○	—	—	○
干満帯上部 +300～ +850	○	○	○	○	○	○
干満帯下部 -300～ -1150	○	○	○	—	—	○

○：調査実施
—：調査未実施

2.5.5 調査方法

① さび、ふくれ、はがれ→目視にて調査し、鋼橋塗膜調査JSS VI 03-1982の評価点に置き換えて評価した。

干満帯は、付着した海中生物を除去（約50×50cm程度）し、塗膜表面を露出後、目視調査した。

② 付着性 →スクレパーの刃先を塗膜に入れ付着状態を調査する。

③ 打診テスト →打診にて浮きの有無を調査する。

2.5.6 調査結果

部位		調査項目と結果					
		さび	ふくれ	はがれ	付着性	打診テスト	特異現象
3 A 直立材	飛沫帯 +850～ +2097	3	3	3	—	—	なし
	干満帯上部 +300～ +850	3	3	3	良好	異常なし	なし
	干満帯下部 -300～ -1150	3	3	3	—	—	なし

2.5.7 まとめ

(1) 塗膜の欠陥等の発生は認められないこと、干満帯上部で実施した付着性試験跡の素地の状態は金属感を呈していたこと等から、所期の防食性能を維持していると考えられる。

(2) 尚、付着性の調査によって生じた塗膜ダメージ部（干満帯上部の約2×50mm）は、手工具による素地調整後、水中硬化形エポキシ樹脂被覆材料（ナブコバリヤーN）にて補修を試みたが、当日の強い波浪により十分な素地調整ができず、また、塗布しても離脱してしまうなど補修が不可能な状況であった。

3 補修の記録

暴露された試験材の損傷に対して、その都度必要に応じて補修を行った。補修の対象となったのは研究テーマ3において試験施設本体に施工された試験材である。損傷の原因は台風や低気圧のもたらす波浪、強風、漂流物の衝突などが推定される。損傷や補修の状況は各年度の報告にくわしいが、次にその概要をまとめた。

年 度	経 過	防食系	対 象	損 傷 状 況	補 修 状 況
1986	2. 5年	NO. 9	1C 2C	(1) 斜材のカバー材が流失	(1) FRPカバーを新しく補充
		NO.10	2A-2B 3B-3C 2C-3C	(1) 飛沫帯水平材カバーの固定ボルト脱落、カバー破損	(1) 2C-3CのFRPカバーは新しく交換 固定ボルトは補充と増し締め
		NO.12	3C	(1) 現場施工のFRPライニング層のはくり	(3) FRPライニング
1987	3. 5年	NO.12	2A	(1) FRPカバー脱落 (2) ジャケットシム部のFRPライニングの一部はくり	(1) FRPカバーを更新 (2) FRPライニング
			2B	(1) パイル部PEカバー脱落	(1) PEカバーを更新
1989	5. 5年	NO.12	1B, 2A 2B 3A	(1) FRPカバー接続部のシール材の一部はくり (2) ライニングの一部はくり	杭1C (標準仕様) 以外の8本の杭の仕様をすべて杭1C仕様 (第2次試験材) に統一 (注) 防食被覆解体時に素地鋼面の防食効果を確認 (独自調査)

年 度	経 過	防食系	対 象	損 傷 状 況	補 修 状 況
1990	6. 5年	NO.10	2C-3C	(1) 粘着テープの一部はがれ	(1) ブチルゴム系両面粘着材+(EPD系ゴム+粘着材) 粘着ゴムテープの2層巻き
		NO.11	3C	(1) 直立杭飛沫帯で全周1m幅の紫外線硬化型FRP層とペトムロラタム防食層が脱落	(1) ペトムロラタムペースト+ペトムロラタムテープ+FRPハンツドレイアップ
		NO.12	1A, 2A	(1) FRPカバーバンドのずれ	(1) バンドしめ直し
			1A, 3B, 3C	(2) FRPカバーの一部表層はがれ	(2) 上部FRPカバー更
1991	7. 5年	NO.11	3C	(1) 1990年補修の防食層の脱落	(1) 1990年補修と同仕様で再度補修
		NO.12	1A 2A, 3A3B 3B 3C	(1) 上部カバーの一部破損 (2) 下部カバーの一部破損 (3) カバーバンドの脱落 (4) 上下カバーの表層一部はがれ	(1) カバー更新 (2) カバー更新 (3) バンド補充 (4) 現場FRPライニング

4 研究発表記録

本研究に関する対外発表の標題は次のとおりである。

(1) Ocean Space Utilization '85(Tokyo. June 1985)

Study of Corrosion - Protection Technologies in Splash and Tidal Zones

Y.Suzuki, K.Doi, T.Kyuno and Y.Syimizu

The Kozai Club, Nihonbashi Kayabacho, Chuo - ku, Tokyo, 103 Japan

(2) 第33回腐食防食討論会（腐食防食協会、1986年10月、沖縄）

A106 飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術（第1報）

—海洋技術総合研究施設を用いた暴露試験—

鋼材倶楽部技術委員 ○久野忠一（川崎製鐵）、清水義明（日本鋼管）、

土居一幸（新日本製鐵）、土木研究センター 田中柳之助

建設省土木研究所 片脇清士

(3) 第7回防錆防食技術発表大会（日本防錆技術協会、1987年7月、東京）

特別講演 —海洋暴露試験施設を用いた海洋構造物の防食技術に関する研究について—

建設省土木研究所 片脇 清士

(4) 同上

209 飛沫帯および干満帯における鋼構造物の長期防食技術（第2報）

(注)鋼材倶楽部技術委員（日本鋼管(株)） ○清水 義明

〃 （新日本製鐵(株)） 大長 智

建設省 土木研究所 片脇 清士

海洋構造物の耐久性向上技術に
関する共同研究報告書
(第1分科会)

ISSN 0386-5878
共同研究報告書 第141号
平成7年12月(1995)

建設省土木研究所
社団法人 鋼材倶楽部

要 旨

本報告書は駿河湾の海洋技術総合研究施設を利用して行われた「飛沫帯および干満帯における鋼構造物の防食技術に関する研究」について、その前期約10年間の試験結果をまとめたものである。

試験目的は「高耐食性金属被覆法による長期耐用」、「耐海水鋼の有効利用」、「新規塗覆装材料および工法の実使用」の検証などで、それぞれ期待寿命内でメンテナンスフリー化やトータルコストの軽減化などの可能性を確認することである。試験方法はパイプ状または板状の試験材を固定して曝露し、あるいは施設の一部に塗覆装を施工して試験対象とし、経年的に観察、測定を行った。また、試験材の一部を計画的に回収し、破壊試験を含む詳細調査を行った。

試験結果を要約すると、ステンレス鋼の耐食性および電気防食によるすきま腐食防止、耐海水鋼の耐食性、厚膜型重防食塗覆装の耐久性など実環境における使用に関する多くの貴重な成果を得た。

キーワード: 海洋構造物, 飛沫帯, 干満帯, 防食技術, 曝露試験, 高耐食性金属被覆, 耐海水鋼, 塗装防食, 被覆防食, 電気防食, 隙間腐食

郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい。

305-□□

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室
行

茨城県つくば市大字旭一番地

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所

○

共同研究報告書第 141 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印