

# 土木研究所資料

第1235号

構造材料の防食技術の開発に関する研究報告書

昭和52年3月

建設省土木研究所

## 目 次

### まえがき

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. 研究目的 .....               | 1  |
| 2. 研究方法 .....               | 1  |
| 3. 研究経過 .....               | 3  |
| 3.1 文献ならびに実態調査 .....        | 3  |
| 3.2 第1次暴露試験 .....           | 3  |
| 3.3 第2次暴露試験 .....           | 3  |
| 3.4 試験杭及び試験片に関する調査 .....    | 4  |
| 3.4.1 千葉沖における調査 .....       | 4  |
| 3.4.2 阿字ヶ浦沖における調査 .....     | 4  |
| 3.5 その他 .....               | 5  |
| 4. 研究内容及び研究結果 .....         | 5  |
| 4.1 文献ならびに実態調査の結果(1) .....  | 5  |
| 4.1.1 金属素材の耐食性 .....        | 5  |
| 4.1.2 耐食性金属材料の被覆による防食 ..... | 5  |
| 4.1.3 金属溶射及びメッキによる防食 .....  | 7  |
| 4.1.4 有機質被覆による防食 .....      | 7  |
| 4.1.5 無機質被覆による防食 .....      | 8  |
| 4.1.6 今後の問題点 .....          | 8  |
| 4.2 文献ならびに実態調査の結果(2) .....  | 10 |
| 4.2.1 市販されている耐海水鋼の諸特性 ..... | 10 |
| 4.2.2 防食工法に関する調査 .....      | 10 |
| 4.3 第1次暴露試験 .....           | 11 |
| 4.3.1 試験杭及び試験片の製作, 暴露 ..... | 11 |
| 4.3.2 試験杭に関する調査結果 .....     | 14 |
| 4.3.3 試験片に関する調査結果 .....     | 20 |
| 4.4 第2次暴露試験 .....           | 23 |
| 4.4.1 試験杭及び試験片の製作, 暴露 ..... | 23 |
| 4.4.2 試験杭に関する調査結果 .....     | 26 |
| 4.4.3 試験片に関する調査結果 .....     | 27 |
| 4.5 既設鋼管杭の腐食状況調査 .....      | 27 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 4.6 暴露環境の調査 .....       | 28 |
| 5. 研究結果の総括 .....        | 29 |
| 6. 海洋鋼構造物防食指針，同解説 ..... | 30 |

あ と が き

## ま え が き

建設省土木研究所は、昭和47年度に開始した総合技術開発プロジェクトの「海洋構造物建設技術の開発」の一環として、昭和48年度から、海洋構造物の構造材料の防食技術の開発をおこなうべく、官民の出資金により、広く学、官、民の学識経験者の英知を結集して研究を実施して来たが、昭和51年度をもって総合技術開発プロジェクト予算による研究を終了したので、過去4ヶ年間にわたる研究成果をとりまとめて報告するものである。

建設省土木研究所

地質化学部長 柳 田 力

地質化学部

化学研究室長 蒔 田 実

同主任研究員 森 芳 徳

## 1. 研究目的

海洋構造物(鋼)の飛沫帯及び干満帯は、とりわけ腐食が著しいにもかかわらず、防食が最も困難な部分であるが、その防食技術は、大気中部や海中部及び海底土中部を対象とする防食技術に比して著しく立ち遅れており、技術開発の必要性が極めて大きい。

従って、本研究では、飛沫帯及び干満帯に適用する防食技術の開発を目的として研究を実施するものである。

## 2. 研究方法

研究は、建設省土木研究所、(財)国土開発技術研究センター及び鋼管杭協会の3者の共同研究方式により実施した。すなわち、総合技術開発プロジェクトの構想に従い、広く学、官、民の学識経験者の協力を得るため(財)国土開発技術研究センター内に「防食杭開発委員会」を設置するとともに、下部組織として幹事会を設けて、研究活動をおこなった。委員会及び幹事会のメンバーは表-1に示したとおりである。

なお、海洋構造物の飛沫帯及び干満帯に適用する防食技術の開発研究をおこなうに当たり、研究の対象に鋼管杭を選定したのは、最も利用される構造形式であるほか、形状が単純であるから、飛沫帯及び干満帯の防食を目的とした防食鋼管杭の開発は、形状が複雑な場合の基本となるばかりでなく、取り組みやすいと考えたためである。

具体的な研究方法はつぎのとおりである。すなわち、まず防食に関する材料、施工ならびに、維持補修方法などについて、文献調査と実態調査により、海洋構造物の飛沫帯及び干満帯の防食に相当と思われる材料及び施工方法を選定し、次いで、選定した材料を用いて被覆した実大寸法の試験杭を製作して海中に打ち込んで暴露し、施工性、防食性、耐久性、耐損傷性、補修性などの諸性能を調べると同時に、経済性を含めた防食被覆の実用性を総合的に評価判定する方法を用いて研究した。

年度別研究予算額及び国と民間との分担額を表-2に示す。

表-1 防食杭開発委員会及び幹事会

| 氏 名            | 所 属                 |
|----------------|---------------------|
| 委員長 玉野 治 光     | 首都高速道路公団保全施設部       |
| 委員 青木 敬 雄      | 電力中央研究所エネルギー環境技術研究所 |
| 川崎 浩 司         | 神奈川大学工学部            |
| 篠原 洋 司         | 建設省道路局国道第二課         |
| 替 一 幸          | 運輸省港湾技術研究所構造部       |
| 高 島 洸          | 本州四国連絡橋公団設計第二部      |
| 橋 本 晃          | 建設省建築研究所第二研究部       |
| 吉 田 巖          | 本州四国連絡橋公団設計第二部      |
| 望 月 博 正        | 新日本製鉄(株)建材販売部       |
| 石 渡 正 夫        | 川崎製鉄(株)建設開発部        |
| 菅 野 孝 夫        | 住友金属工業(株)建設プロジェクト部  |
| 〃(幹事長) 木 寺 謙 爾 | 日本鋼管(株)鉄鋼技術部        |
| 〃 池 見 恒 夫      | (株)日本製鋼所鉄鋼技術部       |
| 〃 長 尾 正 三      | 久保田鉄工(株)パイプ技術研究所    |
| 〃 立 石 俊 一      | (財)国土開発技術研究センター研究部  |
| 〃 藤 田 実        | 建設省土木研究所地質化学部       |
| 特別委員 田 中 柳之助   | 鋼管杭協会               |
| 幹 事 山 田 光 二    | 新日本製鉄(株)技術開発部       |
| 〃 金 子 堅次郎      | 新日本製鉄(株)製品技術研究所     |
| 〃 久 野 忠 一      | 川崎製鉄(株)技術研究所        |
| 〃 小 西 良 和      | 住友金属工業(株)第二技術開発部    |
| 〃 永 田 三 郎      | 住友金属工業(株)中央技術研究所    |
| 〃 玉 田 明 宏      | 日本鋼管(株)技術研究所        |
| 〃 津 田 正 夫      | (株)日本製鋼所鉄鋼技術部       |
| 〃 大 西 敬 三      | (株)日本製鋼所研究所         |
| 〃 錦 勝 郎        | 久保田鉄工(株)鋼管事業部       |
| 〃 佐 武 二 郎      | 住友金属工業(株)中央技術研究所    |
| 〃 浜 田 耕一郎      | 住友金属工業(株)建設プロジェクト部  |
| 〃 中 川 宏 夫      | 川崎製鉄(株)建設開発部        |
| 〃 村 木 幸 春      | 川崎製鉄(株)             |
| 〃 奥 村 博 昭      | (財)国土開発技術研究センター研究部  |
| 〃 大 野 芳 保      | 鋼管杭協会               |
| 〃 森 芳 徳        | 建設省土木研究所地質化学部       |

## 前委員及び幹事

| 氏 名          | 所 属                 |
|--------------|---------------------|
| 前委員長 松 崎 彬 磨 | 本州四国連絡橋公団           |
| 前委員 駒 田 敬 一  | 前本州四国連絡橋公団設計第二部     |
| 〃 尾 家 義 弘    | 新日本製鉄(株)製品技術研究所     |
| 〃 杉 浦 喜久雄    | (株)日本製鋼所            |
| 〃 松 野 三 朗    | 前(財)国土開発技術研究センター研究部 |
| 前幹事 広 瀬 鉄 蔵  | 日本鋼管(株)             |
| 〃 吾 妻 茂 男    | 日本鋼管(株)             |
| 〃 渡 江 利 彦    | 前(財)国土開発技術研究センター研究部 |

表-2 研究費及び研究分担額

(単位 千円)

| 年 度 | 全 体 研 究 費 | 研 究 分 担 額 |        |
|-----|-----------|-----------|--------|
|     |           | 国         | 民 間    |
| 4 8 | 1,799     | 1,799     | 0      |
| 4 9 | 31,644    | 9,644     | 22,000 |
| 5 0 | 48,221    | 16,221    | 32,000 |
| 5 1 | 23,334    | 13,334    | 10,000 |
| 計   | 104,998   | 40,998    | 64,000 |

## 3. 研究経過

## 3.1 文献ならびに実態調査(昭和48年度)

研究初年度である昭和48年度には、海洋構造物の飛沫帯及び干満帯に適用する防食方法及び防食材料ならびに維持管理上の問題を明らかにし、研究対象の防食技術上の位置づけをするため、つぎのような文献調査と実態調査をおこなった。

- (1) 耐海水鋼、クラッド用金属材料など耐食性金属材料に関するもの。
- (2) 溶射など金属被覆及びライニングなど重防食被覆に関するもの。
- (3) 既存の海洋構造物の防食方法及び腐食の状況ならびに維持補修対策の実態に関するもの。

## 3.2 第1次暴露試験(昭和49年度)

研究2年目の昭和49年度には、前年度に実施した文献ならびに実態調査により明らかにされた各種の防食被覆材料の中から適当なものを選定し、これを鋼管に被覆して製作した12種類計24本の試験杭を東京湾の千葉市川崎製鉄(株)千葉製鉄所沖に打ち込み、暴露を開始した。また、それと同時に、試験杭と同種の防食被覆にモデル巻きをを加えた13種類計35本の試験片を製作して、試験杭の近くに取付けて暴露した。

## 3.3 第2次暴露試験(昭和50年度)

研究3年目の昭和50年度には、前年度に暴露した試験杭について、目視による観察と暴露場所近くにおける水質調査を実施した。

この調査結果及び前年度に試験杭の製作、打ち込みの過程で明らかにされた防食被覆の施工性や耐損傷性についてのデータを加味して最終的に選定した種類に、その後の調査で新たに判明した

種類の中から選んだものを加えた10種類計18本の試験杭を製作して千葉製鉄所沖よりも海象条件、地盤条件の苛酷な茨城県那珂湊市阿字ヶ浦沖に打ち込み、暴露を開始した。また、それと同時に11種類計20本の試験片を試験杭の近くに取付けて暴露した。

### 3.4 試験杭及び試験片に関する調査(昭和51年度)

研究最終年度である昭和51年度には、昭和49年度及び昭和50年度にそれぞれ暴露した試験杭と試験片について、つぎの調査をおこなった。

#### 3.4.1 千葉製鉄所沖における調査

##### (1) 試験杭(24本)に関する調査(51年9月~10月)

- a) 目視観察
- b) 写真撮影(カラー)による記録
- c) 自然電位測定 スチールファイバーコンクリート及びステンレス巻きについてのみ  
おこなった。

##### (2) 試験片に関する調査(51年9月~11月)

- a) 取付状況の写真撮影(カラー)
- b) 取外した試験片の詳細観察
  - ① 付着物除去前後の状態
  - ② スクラッチなどきず部からの腐食や塗膜劣化の広がり
  - ③ 表面状態の目視観察、(金属被覆材の腐食状況を含む)
- c) 付着力テスト(ステンレス、耐海水鋼、モネルを除く)
- d) 被覆をはくりした後の素地状態の観察(同上)
- e) 塗膜の電気抵抗測定(同上)

##### (3) 環境調査(49年度~51年度)

試験杭等の暴露環境調査として海水の水質調査をおこなった。

- a) 採水; 表層及び底層
- b) 回数; 49年度2回, 50年度1回, 51年度1回計4回
- c) 測定項目; 水温, pH, 比抵抗,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , DO, COD  
 $S^{2-}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$

##### (4) 試験片の追加暴露(51年8月)

チタンクラッド試験片(チタンの厚さ0.5mm)2本を追加暴露した。

#### 3.4.2 阿字ヶ浦沖における調査

##### (1) 試験杭に関する調査(51年9月)

- a) 目視観察
- b) 写真撮影(カラー)による記録

##### (2) 既設鋼管杭の調査(51年9月)

- a) 潜水調査；腐食状況の目視観察、写真撮影
- b) 厚み計測；除錆後に超音波厚み計により測定

(3) 試験片に関する調査（51年9月）

防錆被覆の劣化状況の目視観察をおこなった。

(4) 環境調査

表層の海水について、昭和51年2月20日と昭和51年10月20日の2回にわたり水質調査をおこなった。調査項目は千葉製鉄所沖と同じである。

3.5 その他

- (1) 千葉製鉄所沖の暴露施設に、安全に観測するための足場を設置した。（51年度）。
- (2) 阿字ヶ浦沖の暴露施設を安全に観測するための軽合金製携帯用足場を製作した。（51年度）
- (3) 標識灯の設置及び維持管理（49年度～51年度）  
千葉製鉄所沖の暴露施設に標識灯を設置し、4ヶ月毎に電池の交換その他の維持管理をおこなった。

4. 研究内容及び研究成果

4.1 文献ならびに実態調査の結果(1)

昭和48年度に実施した文献ならびに実態調査により明らかとなった事項はあらましつぎのとおりである。

4.1.1 金属素材の耐食性

鉄鋼材料を中心に海洋環境中での腐食特性および耐食性について調査した。

海洋大気部、飛沫帯、海中部、……など、環境別の腐食量を集約すると、例外はあるが飛沫帯が一般に腐食が激しく、炭素鋼で0.3～0.5 mm/yに達し、ついで大気部、海中部である。

耐候性鋼や耐海水性鋼は炭素鋼より耐食性がよいので、環境をよく考慮して使用すれば、防食なしで寿命をのばすことができる。

ステンレスなどの高合金鋼は全面腐食にはよいが、海水中では孔食やすきま腐食が問題である。非鉄金属材料として銅および銅合金、ニッケル、ニッケル-銅合金、インコネル、ハステロイ、チタンなどの耐食性は炭素鋼よりずっとよいが、それぞれ長短があるので、使用上十分な注意が必要である。

今後、大型海洋構造物用材料として、鉄鋼が主要材料となることは疑い余地がないが、飛沫帯を中心とした防食手段として上記耐食性材料の利用、あるいは特殊表面処理法の開発研究が盛んになるものと思われる。

4.1.2 耐食性金属材料の被覆による防食

最近の海洋構造物は大型化かつ永久化の傾向にあり、それに伴って防食のむずかしさ、補修とメンテナンスのむずかしさとコスト高が生じている。

永久構造物としての鋼管杭の防食を考えると、金属被覆は長期寿命の点で非常に有効である。代表的なモデル、ステンレス、低合金系耐海水鋼、炭素鋼について、コスト、寿命などを比較すると表-3 のようになり、高合金系ではステンレス（ただし低コスト）、低合金系（ただし他防食

表-3 耐食性金属材料被覆のコスト、寿命

| 被 覆              | 板 厚<br>(mm) | 寿 命<br>(年)      | 下部電防<br>又は塗装 | 耐 衝<br>撃 性 | 溶 接 | そ の 他          | ***<br>基材コスト<br>円/m | **<br>50年寿命設計コスト<br>円/m |
|------------------|-------------|-----------------|--------------|------------|-----|----------------|---------------------|-------------------------|
| モ ネ ル            | 2           | 20~50           | 要            | 弱          | 難   | 耐孔食、耐すき<br>ま腐食 | 44250               | 44250+補修費               |
| ステンレス<br>(SUS32) | 3           | 20 <sup>*</sup> | 要            | 弱          | 難   | 同 上            | 11400               | 28500+取換費×2.5回          |
| 低合金鋼             | 12          | 20              | 要            | 強          | 易   | 他防食法併用         | 7500                | 18750+取換費×2.5回          |
| 炭 素 鋼            | 12          | 10              | 不 要          | 強          | 易   | 同 上            | 4600                | 23000+取換費×5 回           |

(注) \*推定値(孔食を考慮) \*\* (溶接費、加工費を除く) \*\*\* (S48-8時点におけるコスト)

併用)がコストとメンテナンスの点で有望であろう。

また高合金金属被覆は縦に数分割し、曲げ加工後溶接されるが溶接面の整合や加工性、溶接性が重要である。そして杭打ち時には降伏点に近い応力がかかり、さらに波浪などによる繰り返し応力加わるために疲労により溶接部の微細な欠陥から割れが生ずるので、溶接に注意を要する。

また運搬時、打ち込み時や流木の衝突などによる被覆の損傷などについても配慮する必要がある。

金属被覆の取り付けは波浪などを考えると、溶接が最適であるが、リベット、ピンなどによるファスナーの利用も補修の点で有利である。

こうした点から環境と寿命にあった適切かつ経済的な飛沫帯の金属被覆防食法の開発のために今後検討すべき課題としては、

Ⅰ) 被覆材料として

- (1) 低合金系耐海水鋼の有効利用と他の防食法を含めた利用法の開発。
- (2) 耐孔食、耐すきま腐食性のすぐれた低コストステンレス鋼の開発。

Ⅱ) 製造・施工上の問題として

- (1) 工場におけるユニット化と現地における加工性、溶接性などの施工性の検討。
- (2) 運搬、建造、施工中における防食材と溶接部の損傷と防止法の検討。
- (3) 二重管構造における応力、たわみと変形、疲労に関する検討。
- (4) 絶縁材、充てん材の強度と密着性、地鉄の凹凸と充てん材、溶接部と防食法などの検討。

などが挙げられよう。

#### 4.1.3 金属溶射およびメッキによる防食

調査結果を要約すると次の通りである。

- (1) 海洋構造物に使用される金属は亜鉛およびアルミニウムである。
- (2) 亜鉛は溶射法および溶融メッキ法によって被覆され、アルミニウムは溶射法による被覆がおこなわれる。
- (3) 亜鉛とアルミニウムを比較すると海洋環境下、特に海中、潮位間、飛沫帯では、その耐食性はアルミニウムの方がすぐれている。しかしながら使用されている実績は亜鉛の方がはるかに多い。
- (4) 海洋環境下では、金属被覆単独ではなく、塗装下地として塗装と併用して、より長期防食が可能である。
- (5) 金属被覆に塗装する場合には、塗装系の選択、施工法により大きく影響を受けるので、今後の検討課題である。
- (6) 飛沫帯での検討例および使用実績は比較的少ない。

防食杭に適用する場合の今後の検討課題

- (1) 適切な塗装システムの確立
- (2) 被覆法に適した設計および取り扱い、施工上の問題点の把握と解決
- (3) 経済性の評価
- (4) 電気防食と金属被覆の併用による防食システムの検討

#### 4.1.4 有機質被覆による防食

海洋構造物はその立地条件、維持管理条件から、その防食法はロングライフ・メンテナンスフリーの方向に進んでいる。

有機防食被覆材の開発を進めるため、その1つとしてハイビルド塗装が採用されつつあるが、それでも十数系の防食寿命が確認されておらず、決して満足されるような防食効果を上げることができない。

これを補うには、次に示すような各種材料の組合せによる方法や新しい材料施工法の開発が今後なされて行かなくてはならない。

- (1) ハイビルド塗装と各種ライニング、シーティング材料との組合せ。
- (2) ハイビルド塗装と他の防食法との組合せ。
- (3) 粉体塗装や低発泡体による極厚コーティング法。
- (4) メンテナンス用材としての湿潤面用被覆材、水中硬化被覆材およびその施工法。

一方どんなに優れた材料であっても、施工時における作業によって塗膜が損傷を受けるようなことがあつては、その真価を発揮することができない。新材料の開発にあつては、この点についても配慮する必要がある。

また防食効果を長期にわたって調査するため暴露実験を行なうのは重要なことであるが、短期

日である程度実情に即した結果を得られるような試験方法の検討もなされなくてはならない。

#### 4.1.5 無機質被覆による防食

セメント硬化体やコンクリート複合材を海洋構造物の防食材として適用するために、系統だてて調査研究を実施した例は比較的少ない。

しかしながら、セメント硬化体は表面から中性化が進行するものの膜厚を自由に選定できるので、長期間安定した防食が可能であり、岸壁の上部ラッピング材として防食を兼ねた実績は相当数にのぼる。

一方セメント硬化体の最大の欠点は乾燥収縮や外力によってひび割れが発生することである。ひび割れが鋼面素地まで至っていれば、その幅によって差異があるものの防食効果は低下する。

したがって、この材料を活用して行くためには、ひび割れと防食性との関係を常に考慮しながら、次に示すような点について、今後検討する必要がある。

- (1) 被覆厚と防食性の関係
- (2) 現場、工場ライニング方法の確立
- (3) 他の防食方法との併用
- (4) 短期日で効果が判定できるような試験方法の確立

一方コンクリート複合材はセメント硬化体の諸性能を改良するため開発されたものであるが、現在のところ、実験データ、使用実績が少ない。

しかしながら、その性能から防食材として期待できる材料であり、適切に使用するため系統だてて調査を早急に行なう必要がある。

#### 4.1.6 今後の問題点

海洋環境は海洋大気部、飛沫帯、干満帯、水中部に分けられるが、海水、波浪、生物などの腐食促進要因があるために、材料の腐食は激しい。特に飛沫帯は腐食が激しい所であり、 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm/y}$  (時には  $1 \text{ mm/y}$  程度) も腐食しその完全な防食法は未だ確立されていない。

海洋構造物の防食法の研究は非常に困難で根拠を要する作業であり、本委員会以外でも研究が進められているが、暴露試験に代る短期にその効果を判定できる促進試験法が確立されていないことが研究の隘路の一つとなっている。従って現状では、海洋環境における長期暴露試験データをできるだけ多く積み重ねて行く必要がある。

現在電気防食は信頼性の高い防食法といわれているが  $L \cdot W \cdot L$  以外の常時、海水に浸っている部分に効果があり、 $L \cdot W \cdot L$  以上の乾湿を繰り返す部分ないし大気部分では効果がない。

この部分は主として塗装による防食法をとっている。しかし、この方法も永久構造物として通常期待する構造物の耐用年数とこれらの防食法の耐用年数とを比較するとき満足出来るものではない。即ち永久構造物と呼ぶ構造物の場合  $50 \sim 100$  年位の耐用年数を想定するものであろう。

これに対し、上記の防食法は現状では構造物を  $2 \sim 3$  年から最高  $10 \sim 20$  年位保護するだけの能力しかなく、半永久的な寿命を必要とする大型海洋構造物にそのまま適用するには問題が

多い。

我々が今後永久構造物の防食法を考える場合考慮しなければならないことは、いかに耐用年数の長い防食法を開発するかということである。

その場合でも、構造物に期待する耐用年数と防食処置の耐用年数とをバランスさせなければ、経済性をも勘案した満足すべき防食法の決定とはなり得ない。

長期寿命を持つ防食法として我々が現在持っているもの、あるいは開発途上にあるものについては各章で詳しく述べて来たところであるが、これらの方法に共通する問題を概括すれば図-1ごとく、経済性、施工性、補修の問題に集約されるであろう。

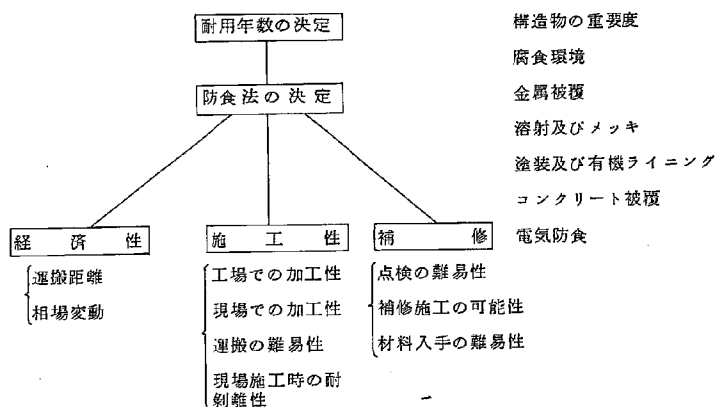


図-1 防食法選択上の問題

かかる背景のもとに今後我々が重点的にとりあげるべき研究課題としては、すでに述べた如く次のようなものが考えられる。

- I) 耐食性金属材料による防食法として、低合金耐海水性鋼及びステンレスを含めた高級金属材料と電気防食、表面処理を組み合わせた防食法および施工法の研究。
- II) 金属溶射およびメッキによる防食法として、Al, Znと表面処理を組み合わせた最適防食法の研究。
- III) 有機被覆による防食法として、ハイビルド塗装、各種プラスチックラッピングなどの新しい方法及び下地処理との組み合わせによる防食法の研究。
- IV) セメント硬化体による防食法として、被覆厚と防食性との関連の究明、現場あるいは工場ライニング方法の確立、および他の方法との組み合わせによる防食法の研究、またコンクリート複合材として防食材へ適用するための系統だった一連の調査研究。

要約すれば、飛沫帯の防食法としては、幾つかの防食法を組み合わせる相互に欠点を補い且つ相乗

的効果が発揮できるような総合防食法を開発すべきであろう。

#### 4.2 文献ならびに実態調査の結果(2)

昭和49年度には、前年度の継続調査として、耐海水鋼に関する文献ならびに実態の調査と、鋼管杭基礎を採用した海上橋の橋脚の防食工法及び海中構造物の電気防食実施例について調査した。

調査内容は、あらましつぎのとおりである。

##### 4.2.1 市販されている耐海水鋼の諸特性

- (1) 海水腐食と耐海水鋼の狙い
- (2) 耐海水鋼の発展と現状
- (3) 耐海水鋼の特性
- (4) 他の防食法との関連
- (5) 海洋開発における耐海水鋼の立場と将来

##### 4.2.2 防食工法に関する調査

###### (1) 犠牲鉄板被覆とライニングを併用した防食工法

###### a) 江戸橋インターチェンジ橋脚の防食工法

厚さ28mmの防食板を使用し、構造本体との間隙22mmにエポキシ樹脂モルタルを充てんする方法を採用している。

###### b) 湾岸線荒川橋梁橋脚の防食工法

厚さ28mmの防食板を使用し、構造本体との間隙22mmにブロンアスファルトを充てんする方法を採用している。

###### c) 湾岸線高谷川橋梁橋脚の防食工法

厚さ9mmの防食板を直接巻きつけ、更に防食板外面につきのような塗装及びライニングを施す方法を採用している。

第1層 ジンクリッチプライマ( $120\text{ g/m}^2$ )

第2層 アスファルト系塗料( $0.3\text{ l/m}^2$ )

第3層 ゴム入りブロンアスファルト( $1.5\text{ kg/m}^2$ )

第4層 アルミ箔、ガラスクロス入りアスファルト系防水シート

第5層 ゴム入りブロンアスファルト( $2.0\text{ kg/m}^2$ )

###### d) 大島大橋多柱式基礎鋼管杭の防食工法

厚さ、9mmの型枠兼用防食板と構造本体との間隙約19cmに補強鉄筋入りフライアッシュセメントモルタルを充てんする方法を採用している。

###### (2) 海中構造物の電気防食実施例調査

a) 東京湾沿岸鋼構造物50例について、電気防食実施年度、防食面積、防食電流、防食方式、陽極寿命等を調査した。

b) 国内の大型海中構造物22施設について、電気防食対象施設名、構造規模、防食方式、陽極寿命、施工年度等を調査した。

この調査により、防食方式は流電陽極方式が最も多く、陽極寿命は、10年程度を目標とする例が最も多いが、大型構造物の場合は20年以上から80年にも及ぶ例がかなりあることも明らかにした。

#### 4.3 第1次暴露試験

##### 4.3.1 試験杭及び試験片の製作、暴露

###### (1) 試験場所

試験杭を打ち込んで暴露した場所は、千葉県千葉市川崎町1番地の川崎製鉄(株)千葉製鉄所西工場の岸壁から80m沖合とした。設定した試験水域を図-2に示す。

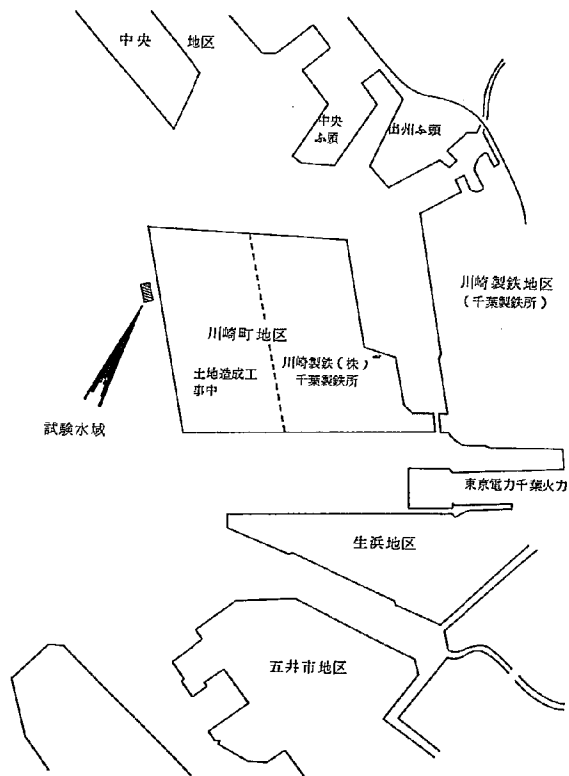


図-2 試験水域(千葉沖)

(2) 試験杭の種類及び配置

表-4 に示した 12 種類各 2 本計 24 本の試験杭 (  $\phi 50.8 \text{ mm}$ ,  $t 9.5 \text{ mm}$ ,  $L 4.5 \text{ m}$ , 防

表-4 防食被覆の種類 (千葉沖)

| 防食被覆の種類                                    | 試験杭 | 試験片 |
|--------------------------------------------|-----|-----|
| 無処理                                        | 2本  | 1本  |
| ステンレス                                      | 2   | 3   |
| 耐海水鋼                                       | 2   | 3   |
| アルミ溶射 ( $100 \mu$ ) + 厚塗型タールエポキシ           | 2   | 3   |
| アルミ溶射 ( $100 \mu$ ) + 厚塗型タールエポキシ (ビニロンクロス) | 2   | 3   |
| アルミ溶射 ( $200 \mu$ , 封孔処理)                  | 2   | 3   |
| 亜鉛溶射 ( $200 \mu$ ) + 厚塗型タールエポキシ            | 2   | 3   |
| 厚塗型無機シンク ( $75 \mu$ ) + 厚塗型タールエポキシ         | 2   | 3   |
| 厚塗型無機シンク ( $75 \mu$ ) + 厚塗型エポキシ (ガラスクロス)   | 2   | 3   |
| ポリエチレン ( $4 \text{ mm}$ )                  | 2   | 3   |
| レジン硬化体 ( $4 \sim 6 \text{ mm}$ )           | 2   | 3   |
| セメントコンクリート (スチールファイバー入り)                   | 2   | —   |
| ブチルゴム                                      | —   | 3   |
| ポリエステル (ガラスフレーク入り)                         | —   | 1   |
| モネル                                        | —   | 1   |
| チタン                                        | —   | 2   |
| 合 計                                        | 24  | 38  |

(注) タールエポキシ, エポキシは 3 回塗り

食被覆範囲  $6 \text{ m}$ ) を防食被覆部分  $6 \text{ m}$  を含む長さ  $9 \text{ m}$  の上杭と無処理の長さ  $3.6 \text{ m}$  の下杭に分けて製作し, 下杭を打ち込んでから, 上杭を溶接して打ち込む方法で, 図-3 の配置で暴露した。

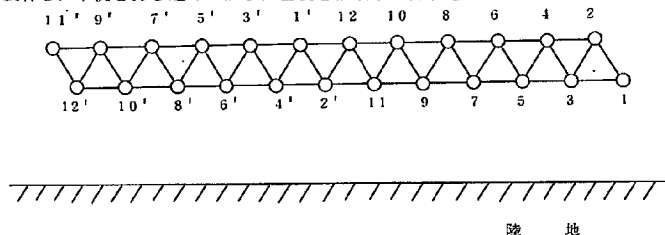


図-3 試験杭の配置

### (3) 支持 棒

試験杭の安定を強めるため、杭の天端に支持棒を設けることにした。支持棒は、H型钢（ $300 \times 300 \times 15$  mm）を用い、杭の間隔を3 mに保持させるようにした。支持棒は、ゴム板とコンクリートを用いて試験杭相互の電気的絶縁をするよう設置した。

### (4) 安全管理

船舶による衝突事故防止のため、標識灯として自動点滅器（ゼナライトB型）6個を設置した。暴露中の試験杭を写真-1に示す。

### (5) 試験片の種類及び配置

防食被覆の防食性、付着性、電気抵抗、材質などの経年変化を詳細に調査して、試験杭に施した防食被覆の性状の解析に役立てる目的及び予算の都合で試験杭が製作できなかった防食被覆材の性能を調べる目的で表-4に示した15種類38本の試験片（ $\phi 100$  mm、3.2 mm  $\angle 2000$  mmのSS41鋼管に被覆を施した後図-4のように傷を入れたもの）を製作し、図-5の配置

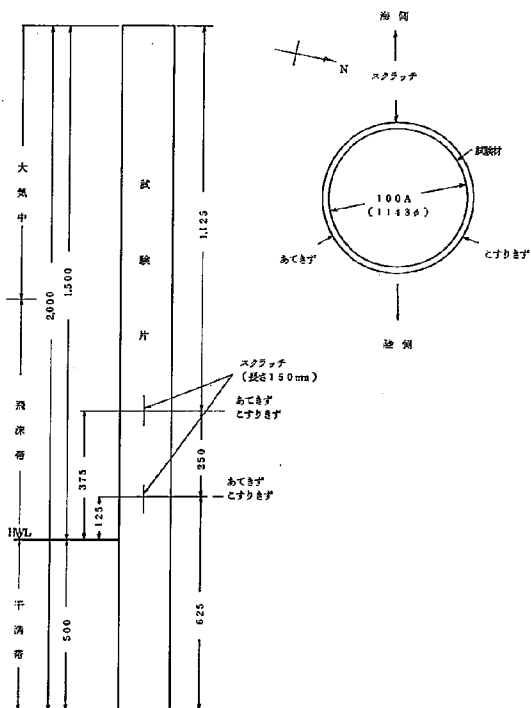


図-4 試験片のきずの位置

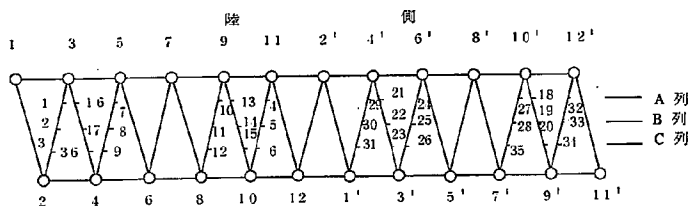


図-5 試験片の配置

で、ゴム板で電氣的に絶縁した状態で鋼枠に取付けて暴露した。暴露中の試験片を写真-2に示す。

#### 4.3.2 試験杭に関する調査結果

##### (1) 運搬及び打込みによる防食被覆の損傷状況

試験杭の搬入、積込、運搬、打ち込みの過程で生じる防食被覆の損傷状況を、打ち込み終了後調査した結果を表-5に示す。

表-5 防食被覆の損傷状況(千葉沖試験杭)

| 番号  | 被覆の種類                                          | 損傷状況                 |
|-----|------------------------------------------------|----------------------|
| 1   | 無処理                                            | 損傷なし                 |
| 1'  |                                                | "                    |
| 2   | ステンレス                                          | "                    |
| 2'  |                                                | "                    |
| 3   | 耐海水銅                                           | "                    |
| 3'  |                                                | "                    |
| 4   | アルミ溶射+厚塗り型タールエポキシ<br>(100μ)                    | "                    |
| 4'  |                                                | 表面的なすり傷1個            |
| 5   | アルミ溶射+ビニロンクロス補強厚塗り型タール<br>(100μ) エポキシ          | 素地に達するすり傷8個          |
| 5'  |                                                | 損傷なし                 |
| 6   | アルミ溶射(封孔処理)<br>(200μ)                          | 表面的なすり傷、打ち傷それぞれ3~4個  |
| 6'  |                                                | 損傷なし                 |
| 7   | 亜鉛溶射+厚塗り型<br>(200μ) タールエポキシ                    | 表面的なすり傷3個            |
| 7'  |                                                | 損傷なし                 |
| 8   | 厚塗り型無機質シンクリッチペイント(75μ)<br>+厚塗り型タールエポキシ         | 素地に達するすり傷1個          |
| 8'  |                                                | 中層までのすり傷4個           |
| 9   | 厚塗り型無機質シンクリッチペイント(75μ)<br>+ガラスクロス補強厚塗り型タールエポキシ | 素地に達するすり傷5個          |
| 9'  |                                                | 損傷なし                 |
| 10  | ポリエチレン (4mm)                                   | "                    |
| 10' |                                                | "                    |
| 11  | レジン硬化体(4~6mm)                                  | "                    |
| 11' |                                                | "                    |
| 12  | スチールファイバー入りコンクリート<br>(10cm)                    | 型枠                   |
| 12' |                                                | 吹付け                  |
|     |                                                | 打ち込み時に先端の座屈により小さくつ入る |

表からもわかるように、この調査により、試験杭の取扱いに際して特別の配慮はしなかったにもかかわらず、防食被覆の損傷は、予想以上少ないことが明らかになった。

## (2) 暴露1年後における目視観察結果

試験杭を打込んで暴露してから1年後に目視により防食被覆の劣化状態を調査した結果、つぎのことが明らかになった。

- Ⅰ) 打込み等、施工時の損傷部分からの劣化の進行は認められなかった。
- Ⅱ) アルミ溶射または亜鉛溶射を防食下地に用い、その上に厚膜型タールエポキシを塗装する防食被覆の干満帯部分に、タールエポキシ塗膜のはくり現象が認められた。これは、海中の無処理部分と溶射皮膜の間に生じた電位差によると考えられ、海中部分への電気防食の適用により軽減できると考えられる。
- Ⅲ) 船の衝突によると思われる防食被覆の損傷がレジン硬化体とスチールファイバー入りコンクリートに認められた。

劣化及び損傷を受けた試験杭を写真-3に示す。

## (3) 暴露2年後における調査結果

### Ⅰ) 目視観察の結果

試験杭を大気中部、干満部、海中部にわけて調査した結果を表-6に示す。この調査

表-6 試験杭の目視観察結果

| 試験杭番号 | 防食被覆の種類 | 劣 化 状 況                                                                                                                                                                                            |
|-------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1, 1' | 無処理     | <p>(大気中)</p> <p>腐食はかなり進行し、はくりしやすい2~3mm厚さのさび層でおおわれている。直径2mm、深さ1~2mmの孔食点在している。</p> <p>(干満帯)</p> <p>L. W. L.近くにムラサキイガイが全面に付着している。鋼はだは全面に浅い凹凸を示している。</p> <p>(海 中)</p> <p>腐食はかなり進行している。さび層ははくりしやすい。</p> |
| 2, 2' | ステンレス   | <p>(大気中)</p> <p>横溶接線にスパッターの影響と思われる点食が認められる。</p> <p>(干満帯)</p> <p>H. W. L.付近にフジゴ、L. W. L.付近にムラサキイガイがそれぞれ全面に付着している。金属面は光沢を有し異状は認め</p>                                                                 |

| 試験杭番号 | 防食被覆の種類                           | 劣 化 状 況                                                                                                                                                                                                                                |
|-------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                   | <p>られない。</p> <p>(海 中)</p> <p>ステンレスには腐食は認められないが、母材との境界部の母材側に孔食が発生している。</p>                                                                                                                                                              |
| 3, 3' | 耐海水銅                              | <p>(大気中)</p> <p>全面はほぼ均一に腐食しており、黒かつ色の緻密な1~2mm厚さのさび層におおわれている。孔食はすくない。</p> <p>(干満帯)</p> <p>生物の付着状況は、1, 1'杭と類似している。その下面に赤かつ色のさび層が強固に付着している。</p> <p>(海 中)</p> <p>黒いさび層が強固に付着している。銅はだはかなり粗面で腐食はかなり進行している。</p>                                |
| 4, 4' | アルミ溶射<br>+厚塗型 タールエポキシ             | <p>(大気中)</p> <p>すり傷から赤さびが発生しているが、その他には異状を認めない。</p> <p>(干満帯)</p> <p>アルミ溶射面からのタールエポキシ塗膜のはくり著しい。露出したアルミ層の消耗が著しく1部に赤さびが発生している。残っているタールエポキシ塗膜はふくれの発生が著しく付着性は極めて悪い。</p> <p>(海 中)</p> <p>タールエポキシのはくりが認められる。アルミ層の防食効果はかなり低下し1部に赤さびが発生している。</p> |
| 5, 5' | アルミ溶射<br>+厚塗型 タールエポキシ<br>(ビロンクロス) | <p>(大気中)</p> <p>クロス材に達するすりきずなどがあるほかは異状は認められない。</p> <p>(干満帯)</p> <p>フジツボ、ムラサキイガイの付着は著しいが塗膜には異状は認められない。</p>                                                                                                                              |

| 試験杭番号 | 防食被覆の種類                      | 劣 化 状 況                                                                                                                              |
|-------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                              | (海 中)<br>タールエポキシ塗膜の消耗が激しく、クロス材の布目があらわれている。1部のきずあとからアルミ面が露出している。                                                                      |
| 6, 6' | アルミ密射(封孔処理)                  | (大気中)<br>1部にすりきずからの発錆はあるが、その他には特に異状はない。<br>(干満帯)<br>特に異状はない。<br>(海 中)<br>アルミの消耗著しく、母材の腐食が始まっている。                                     |
| 7, 7' | 亜鉛密射<br>+厚塗型タールエポキシ          | (大気中)<br>1部にすり傷などはあるが、鋼材の腐食は認められない。<br>(干満帯)<br>亜鉛密射面からのタールエポキシ塗膜のはくりが認められる。<br>露出した亜鉛層が消耗して素地鋼材の腐食が始まっている。<br>(海 中)<br>特に異状は認められない。 |
| 8, 8' | 厚塗型無機ジンク+厚塗<br>型タールエポキシ      | (大気中)<br>1部にすり傷などがあり、ごく小部分に素地鋼材の発錆が認められるが、その他には異状は認められない。<br>(干満帯)<br>フジツボ、ムラサキイガイが全面に付着しているが、塗膜には異状は認められない。<br>(海 中)<br>異状は認められない。  |
| 9, 9' | 厚塗型無機ジンク+厚塗<br>型エポキシ(ガラスクロス) | (大気中)<br>1部にすり傷などがあり、ごく小部分に素地鋼材の発錆が認められるが、その他には異状は認められない。<br>(干満帯)<br>緑藻付着、貝類の付着は他の杭より少ない。                                           |

| 試験杭番号               | 防食被覆の種類                   | 劣 化 状 況                                                                                                                         |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                     |                           | (海 中)<br>異状は認められない。                                                                                                             |
| 10, 10 <sup>1</sup> | ポリエチレン                    | (大気中)<br>特に異状は認められない。<br>(干満帯)<br>フジソバが付着し、浅いが食い込みが認められる。<br>(海 中)<br>異状は認められない。                                                |
| 11, 11 <sup>1</sup> | レジン硬化体<br>(エポキシモルタル)      | (大気中)<br>赤味を帯びた帯状の部分が認められる。1本に生じた船の衝突<br>による当てず(20×15 cm)部分が腐食し周囲に赤さび<br>が浸出している。<br>(干満帯)<br>生物の付着が著しい。<br>(海 中)<br>異状は認められない。 |
| 12, 12 <sup>1</sup> | スチールファイバー入り<br>セメントコンクリート | (大気中)<br>スチールファイバーの腐食が美観を損ねている。吹き付け施工<br>の杭にたて方向のひびわれと施工不良箇所がある。<br>(飛沫帯)(海 中)<br>異状は認められない。                                    |

により明らかになった主な事項はつぎの通りである。

- ① ステンレス巻きの大気中部に溶接時のスパッターの影響と思われる点食、海中部の母材との境界部分母材側に異種金属接触による電池作用腐食と思われる孔食がそれぞれ認められた。
- ② 干満部においてアルミ溶射層表面からタールエポキシ塗膜がほぼ全面にわたりはくりし、露出したアルミ溶射層もかなり消耗していた。この現象は、海中部分にも1部認められた。しかし、ビニロンクロスを併用したものでは、異状は認められなかった。
- ③ アルミ溶射に封孔処理したものは、海中部分において、アルミ溶射層の消耗が著しく、母材表面に腐食の発生が認められた。これは、電気防食をしていないためと考えられるが、電気防食を施した建設省土木研究所の試験においてもアルミ溶射層の消耗がかなり大きか

ったことから、電気防食を併用してもアルミ溶射層の溶出を抑えることは困難であり、海水につかる条件下での耐久性には問題があると判断される。

- ④ 亜鉛溶射+タールエポキシの場合にも、アルミ溶射の場合ほど程度は著しくないが、干渉部分にタールエポキシのはくりが認められた。
- ⑤ ポリエチレンライニングの表面にフジツボの食い込みが認められたが、食い込みの程度は小さい。
- ⑥ レジン硬化体に、母材からと思われる赤さびの長出が認められ、船舶の衝突により生じたきずあとからも赤さびが損傷部周辺の被覆に浸出していた。

## II) 電位分布の測定結果

### A ステンレス巻き試験杭

ステンレス巻き部分と下杭（普通鋼）との境界部の上下方向10 cm 間隔で、飽和甘汞電極を杭の表面に密着させて測定した。測定結果を図-6 に示す。

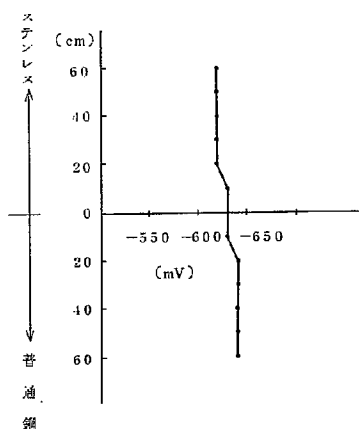


図-6 ステンレス境界部の電位分布

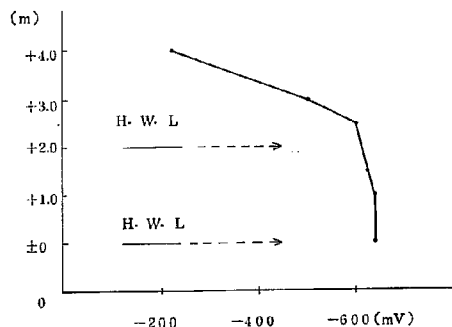


図-7 レジン硬化体被覆杭の電位分布

### B レジン硬化体被覆試験杭

大気中にあるレジン硬化体被覆表面に海水を含ませた布を当て、その上に飽和甘汞電極を押しつけるようにして、杭の上端から1 m 間隔で測定した。測定結果を図-7 に示す。

### C スチールファイバー入りコンクリート被覆試験杭

Bと同様にして測定した。測定結果を図-8 に示す。

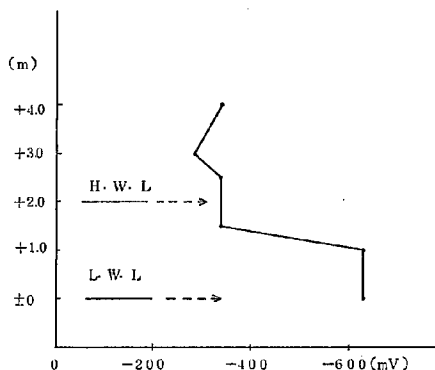


図-8 スチールファイバーコンクリート被覆杭の電位分布

以上の測定結果から、つぎのことが考察される。

① ステンレスと普通鋼との境界部には大きな電位変化は認められず、普通鋼部分にも明瞭な電位勾配は認められなかった。これらのことから、ステンレスと普通鋼の異種金属接触による電池作用腐食がステンレスに隣接した普通鋼部分に集中する危険性は少ないと判断される。

② レジン硬化体被覆における電位は大気中から飛沫帯、干渉帯、へとマイナス方向に変化し海水中電位に近づくことから、飛沫帯、干渉帯では海水の浸透による素地鋼材の発錆が考えられる。

③ スチールファイバー入りコンクリート被覆試験杭では、電位が $-300\text{ mV}$ 前後の値を示している。この電位は、鉄筋コンクリートにおける鉄筋の発錆電位よりマイナス側にあるが、海水に接している鋼管に接続しているため、まだ素地鋼材は発錆していないと考えられる。

#### 4.3.3 試験片に関する調査結果

暴露2年後に試験片を取外してつぎの調査をおこなった。

##### (1) 目視観察の結果

観察結果を表-7に示す。表から、試験片の観察結果は試験杭の観察結果と大同小異であることがわかる。

##### (2) 被覆材の付着力測定結果

測定器として、アドヒジョンテスター(エルコメーター社製)を用い接着剤としてエポキシ系接着剤(アラライト)を用いて、つぎの3ヶ所(各2点)について測定した。

上部(大気中)；試験片上端から40 cm

中部(飛沫帯)；試験片下端から75 cm

下部(干渉帯)；試験片下端から25 cm

表-7 試験片の目視観察結果

| 試験片番号 | 防食被覆の種類                            | 劣化状況                                                         |
|-------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 24    | 亜鉛溶射<br>+厚塗型 タールエポキシ               | 異状なし                                                         |
| 25    | アルミ溶射(封孔処理)                        | 点状の白さは発生しているが、全般的に健全である。                                     |
| 26    | 厚塗型無機ジンク<br>+厚塗型エポキシ<br>(ガラスクロス)   | 異状なし                                                         |
| 27    | レジン硬化体                             | 赤かつ色に変色した部分があり、被覆をはくりしてみると、鋼地鋼材に発錆が認められた。                    |
| 28    | アルミ溶射<br>+厚塗型 タールエポキシ              | 干満帯部にタールエポキシのはがれ及びふくれが認められた。ふくれ部分の塗膜ははがれやすく、塗膜の下には白さが充満していた。 |
| 29    | アルミ溶射<br>+厚塗型 タールエポキシ<br>(ビニロンクロス) | 外見上の異状は認められないが、干満帯部では付着力がほとんどなく、はくり面には白さが発生していた。             |
| 30    | ポリエチレン                             | 異状なし                                                         |
| 31    | 耐海水銅                               | 黒かつ色の嚴重なさびにおおわれていた。                                          |
| 32    | 厚塗型無機ジンク<br>+タールエポキシ               | 全般的に良好で、きず部にふくれが少し認められた程度である。                                |
| 33    | ステンレス                              | 1部溶接線に沿って点食が認められた。                                           |
| 34    | ブチルゴム                              | 干満帯部では、フジツボの食い込みが著しい。付着力は全くない。                               |

測定結果を表-8に示す。表から、アルミ溶射+タールエポキシ(ビニロンクロス併用)、ポリエチレンライニング、ブチルゴムライニングの付着力に問題のあることがわかる。

表-8 付着力測定結果

| 被 覆 の 種 類                  | 測定部位            | 付 着 力 (kg/cm <sup>2</sup> ) |       | 備 考                                               |
|----------------------------|-----------------|-----------------------------|-------|---------------------------------------------------|
|                            |                 | 測 定 値                       | 平 均 値 |                                                   |
| 亜鉛溶射+タールエポキシ               | 大 気 中           | 3 0                         | 3 3   | 亜鉛溶射面からはく<br>りが大部分である。                            |
|                            |                 | 3 5                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 3 5                         | 3 3   |                                                   |
|                            |                 | 3 1                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 3 0             | 3 1                         |       |                                                   |
|                            | 3 1             |                             |       |                                                   |
| ア ル ミ 溶 射                  | 大 気 中           | 6 0                         | 6 0   | アルミ溶射層の内部か<br>らはくりしている。                           |
|                            |                 | 6 0                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 6 0                         | 5 9   |                                                   |
|                            |                 | 5 8                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 5 6             | 5 7                         |       |                                                   |
|                            | 5 8             |                             |       |                                                   |
| アルミ溶射+タールエポキシ              | 大 気 中           | 3 5                         | 4 0   | タールエポキシ層間の<br>はくりが主体で、1部<br>アルミ溶射面からもは<br>くりしている。 |
|                            |                 | 4 5                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 4 0                         | 4 0   |                                                   |
|                            |                 | 4 0                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 4 5             | 4 9                         |       |                                                   |
|                            | 5 3             |                             |       |                                                   |
| アルミ溶射+タールエポキシ<br>(ビニロンクロス) | 大 気 中           | 3 0                         | 2 8   | ビニロンクロスの中間<br>層からはくりしている。<br><br>白さび多い。           |
|                            |                 | 2 5                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 2 5                         | 2 5   |                                                   |
|                            |                 | 2 5                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 0               | 0                           |       |                                                   |
|                            | 0               |                             |       |                                                   |
| 無機ジンク+タールエポキシ              | 大 気 中           | 3 0                         | 3 0   | タールエポキシ層間から<br>らはくりしている。                          |
|                            |                 | 3 0                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 3 0                         | 3 0   |                                                   |
|                            |                 | 3 0                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 3 5             | 3 3                         |       |                                                   |
|                            | 3 0             |                             |       |                                                   |
| 無機ジンク+エポキシ<br>(ガラスクロス)     | 大 気 中           | 3 0                         | 3 0   | ガラスクロス中層部か<br>らはくりしている。                           |
|                            |                 | 3 0                         |       |                                                   |
|                            | 飛 沫 帯           | 2 5                         | 2 7   |                                                   |
|                            |                 | 2 8                         |       |                                                   |
| 干 満 帯                      | 1 5             | 2 2                         |       |                                                   |
|                            | 1 9             |                             |       |                                                   |
| レジン硬化体 (エポキシ)              | 硬度が高く測定作業ができない。 |                             |       |                                                   |
| ポリエチレンライニング                | 母材との付着力なし       |                             |       |                                                   |
| ゴムライニング (ブチルゴム)            | 母材との付着力なし       |                             |       |                                                   |

### (3) 被覆材の電気抵抗測定結果

試験片の上部(上端から40 cm)、下部(下端から40 cm)の2ヶ所について測定した。  
測定はガードリング法によりおこなった。

測定計器；超絶縁計 SM-5 型(東亜電波製)

付 属 品；アルミ箔 5×5 cm

電解液(人工海水+カルボキシルメチルセルロース)

ガードリング(アルミ箔3 cm幅)

測 定；アルミ箔及びガードリングを電解液ペーストで貼付してから18時間後に測定した。

測定結果を表-9に示す。表から、レジン硬化体では電気抵抗は小さく、海水の浸透が考えられる。

表-9 被覆材電気抵抗測定結果

| 被 覆 の 種 類                  | 大 気 中                                          | 干 満 部                                         | 備 考                  |
|----------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| 亜鉛溶射+タールエポキシ               | $1.25 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}^2$ | $7.5 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}^2$ | 使用電圧500V             |
| 厚塗型無機ジンク<br>+エポキシ(ガラスクロス)  | $2.5 \times 10^{10}$                           | $8.75 \times 10^9$                            | 大気中 500V<br>干満部 100V |
| レジン硬化体                     | $1.45 \times 10^8$                             | $9.5 \times 10^5$                             | 万能ブリッジ使用             |
| アルミ溶射+タールエポキシ              | $3.75 \times 10^{10}$                          | $2.5 \times 10^{11}$                          | 500V                 |
| アルミ溶射<br>+タールエポキシ(ビニロンクロス) | $6.25 \times 10^{11}$                          | $1.05 \times 10^{10}$                         | "                    |
| ポリエチレン                     | $3.75 \times 10^{10}$                          | $4.0 \times 10^{11}$                          | "                    |
| 厚塗型無機ジンク<br>+タールエポキシ       | $3.75 \times 10^{10}$                          | $6.25 \times 10^{11}$                         | "                    |
| ブチルゴム                      | $3.75 \times 10^{11}$                          | $9.25 \times 10^{11}$                         | "                    |

#### 4.4 第2次暴露試験

昭和50年度には、前年度に千葉沖で実施した第1次暴露試験により明らかとなった試験杭の運搬、打込みによる防食被覆の損傷状況や防食被覆の施工性に関するデータを参考として選定した防食被覆の種類に、その後の調査により明らかとなった新たな防食被覆の種類を加えた10種類計18本の試験杭と11種類計21本の試験片を製作し、つぎに述べる第2次暴露試験を開始した。

##### 4.4.1 試験杭及び試験片の製作、暴露

###### (1) 試験場所

試験場所として茨城県那珂湊市阿字ヶ浦沖を選定した。選定理由及び試験海域の特徴はつぎの

とありである。

(i) 選定理由

前年度に試験を実施した千葉沖は、海水の水質はやや汚濁しており、大気の汚染度もかなり高いが、内湾であるため波浪は比較的穏やかで地盤はかなり軟弱である。このため、第2次暴露試験は、地質条件及び海象条件の厳しい海域を選定すべく作業を進めた結果、上記の場所が候補地の1つに選ばれた。ここには、既設の建設省土木研究所河川部海岸研究室所掌の漂砂観測施設があり、50年度に同施設を沖合へ100m延長する計画があったので、同施設の脚柱部に防食被覆を施した試験杭を利用することで最終的に計画が決定された。

(ii) 試験水域の特徴

阿字ヶ浦は、水戸市の東方に位置する那珂湊市の市街地の北方にあり、夏は海水浴場として利用されている。太平洋に直接面し、海象条件は苛酷で年間を通じ波が高い。水深は浅浅で、漂砂により海底面は常時変動し、水深高低差は1～2mに及ぶことが観測されており、飛沫帯の防食性能試験に適地と考えられた。設定した試験水域を図-9に示す。

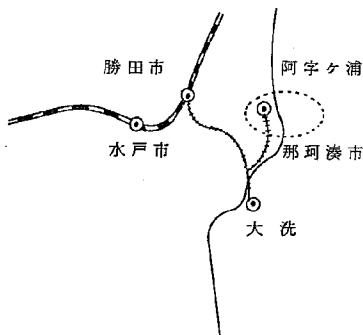


図-9 試験水域（阿字ヶ浦沖）

(2) 試験杭の種類及び配置

表-10に示した10種類計18本の試験杭（ $\phi 60.9.6\text{mm}$ ， $t 1.4\text{mm}$ ， $\ell 1.6\text{m}$ ，防食被覆は頂部1mを残して長さ6mについて施工）を製作し、図-10の配置に打込んで暴露した。

254

表-10 防食被覆の種類(阿字ヶ浦沖)

| 防食被覆の種類                                            | 試験杭 | 試験片 |
|----------------------------------------------------|-----|-----|
| 無処理                                                | 1 本 | 2 本 |
| 耐海水鋼                                               | 1   | 2   |
| 厚塗型無機ジンク+厚塗型タールエポキシ(300 $\mu$ ×3)                  | 2   | 2   |
| アルミ溶射(100 $\mu$ )+厚塗型タールエポキシ(300 $\mu$ ×3, ガラスクロス) | 2   | 2   |
| 厚塗型無機ジンク+厚塗型エポキシ(300 $\mu$ ×3, ガラスクロス)             | 2   | 2   |
| レジン硬化体(4~6mm)                                      | 2   | 2   |
| ウレタンマステック(3mm, 骨材入り)                               | 2   | 1   |
| セメントモルタル(47mm)+ポリエステルFRP(3mm)                      | 2   | 2   |
| ポリウレタンゴム(4mm)                                      | 2   | 2   |
| ポリエチレン(4mm)                                        | 2   | 2   |
| ポリエステル(ガラスフレーク入り)                                  | —   | 2   |
| 合 計                                                | 18  | 21  |

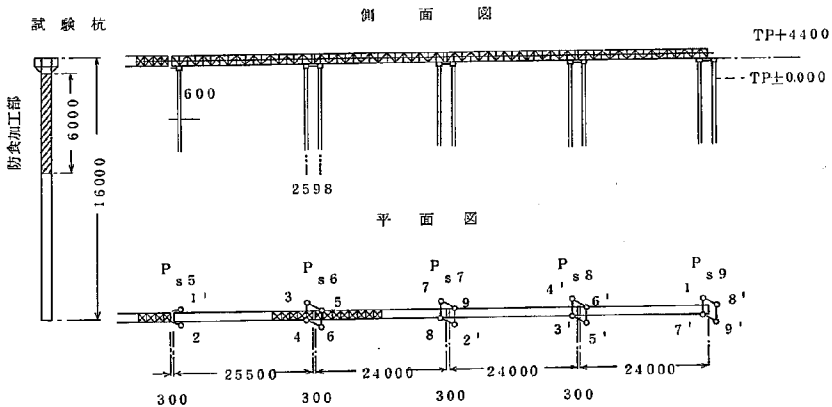


図-10 試験杭の配置(阿字ヶ浦沖)

暴露中の試験杭を写真-4に示す。

### (3) 試験片の種類及び配置

4.3.1(5)に述べた理由により、表-10に示した11種類計21本の試験片(φ100mm, t3.2mm, L2000mm)のSS41鋼管に被覆を施した後図-4のように被覆に傷を入れたものを製作し、深砂観測用棧橋(既設)の脚柱を利用して、図-11のように取付けて暴露し

た。各試験片の電氣的絶縁は、ゴム板を用いておこなった。

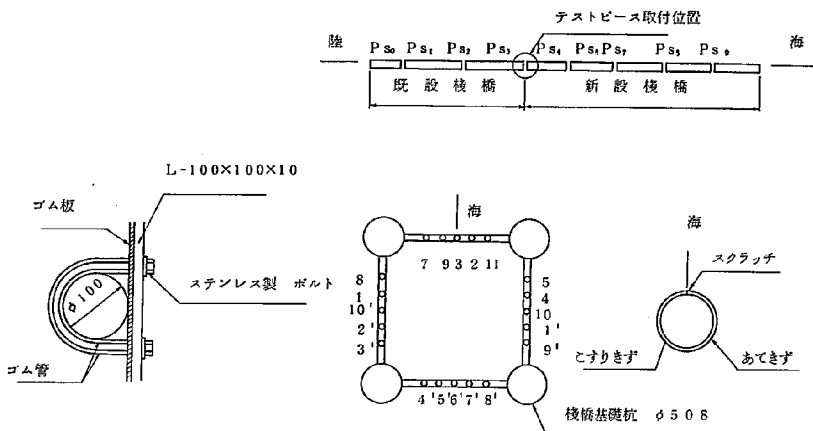


図-1 1 試験片配置及び取付方法

#### 4.4.2 試験杭に関する調査結果

##### (1) 運搬及び打込みによる防食被覆の損傷状況

打込み直後の防食被覆の損傷状況を表-1 1 に示す。この調査により、地盤条件が図-1 2 に

表-1 1 防食被覆の損傷状況(阿字ヶ浦沖試験杭)

| 試験杭番号 | 防 食 被 覆 の 種 類                                            | 損 傷 状 況                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 無 処 理                                                    | 損 傷 な し                                                                                  |
| 1'    | 耐海水鋼 (APS20C)                                            | 同 上                                                                                      |
| 2, 2' | 厚塗型無機ジンク (75 $\mu$ )<br>+厚塗型タールエポキシ (300 $\mu$ ×3)       | 底2杭中央部に築地に達するはがれが1ヶ所、底2'杭中央部に同様なはがれと中程度のうちきずやわれが少し認められた。                                 |
| 3, 3' | アルミ溶射 (100 $\mu$ ) +厚塗型タールエポキシ<br>(300 $\mu$ ×3, ガラスクロス) | 底3杭中央部、底3'杭中央部の下側に塗膜の中層までのすり傷が少し認められた。                                                   |
| 4, 4' | 厚塗型無機ジンク (75 $\mu$ ) +厚塗型エポキシ<br>(300 $\mu$ ×3, ガラスクロス)  | 底4'杭に塗膜の中層までの小はがれが1ヶ所認められた。<br>底4杭は損傷なし。                                                 |
| 5, 5' | レジン硬化体 (4~6mm)                                           | 底5'杭上部に被覆の中層までのすり傷が認められた。底5杭は損傷なし。                                                       |
|       |                                                          | 底6杭の中央部分に築地に達するすり傷が数ヶ所認められた。<br>底6'上部に築地に達する小はがれ、中央部分に被覆の中層までのうちきずが1ヶ所、下方に残りわれが3ヶ所認められた。 |
| 7, 7' | セメントモルタル (47mm) +ポリエステルFRP (3mm)                         | 損傷なし                                                                                     |
| 8, 8' | ポリウレタンゴム (4mm)                                           | 底8杭損傷なし。<br>底8'は中央部に被覆中層までのはがれ、下部に被覆中層までのうちきずがそれぞれ少し認められた。                               |
| 9, 9' | ポリエチレン (4mm)                                             | 底9杭上部に残りすり傷1ヶ所認められた。底9'杭は損傷なし。                                                           |

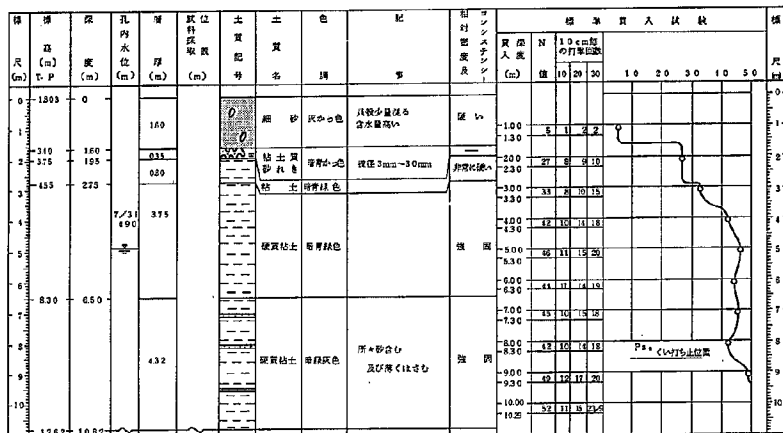


図-12 ボーリング図(昭和50年8月1・2日調査)

示したように悪く、打撃回数が多かったにもかかわらず、防食被覆の損傷は軽微であることを確認できた。

#### (2) 暴露1年後における調査結果

目視観察の結果では、海中生物の付着が被覆の種類により多少異なっていたほかは、運搬及び打込みによる損傷部分からの腐食の拡大や防食被覆の劣化は認められなかった。

#### 4.4.3 試験片に関する調査結果

暴露1年後の試験杭の調査時に目視観察を実施した。その結果はウレタンマステックにきずを入れた部分から大きくはくりしていたほかは明らかな異状は認められなかった。

#### 4.5 既設鋼管杭の腐食状況調査

茨城県那珂湊市阿字ヶ浦における無防食鋼管杭の腐食状況を調査するため、試験杭の近くに打込まれている漂砂観測棧橋の脚柱鋼管の肉厚を超音波厚み計で測定した。測定結果を表-12に示す。

この調査により、平均腐食速度0.255mm/年、最大孔食深さは約4年間で4.8mmにも達していることが明らかとなった。

表-12 既設鋼管杭の腐食状況調査結果

| 杭 番 号 | 腐 食 速 度 (mm/年) |       |       | 最大孔食深さ<br>(mm) |      |
|-------|----------------|-------|-------|----------------|------|
|       | 平 均            |       |       |                |      |
|       | +4 m           | + 2 m | 海 底 部 |                |      |
| 1     | 0.220          | 0.233 | 0.320 | 0.368          | 3.90 |
| 2     | 0.223          | 0.333 | 0.313 | 0.380          | 2.44 |
| 3     | 0.250          | 0.294 |       | 0.350          | 4.33 |
| 4     | 0.217          | 0.287 |       | 0.308          | 3.72 |
| 5     | 0.338          | 0.325 |       | 0.420          | 4.10 |
| 6     | 0.283          | 0.273 |       | 0.313          | 4.80 |
| 7     | 0.212          | 0.161 |       | 0.243          | 3.86 |
| 8     | 0.189          | 0.137 |       | 0.255          | 4.18 |
| 9     | 0.217          | 0.196 |       | 0.355          | 3.93 |
| 10    | 0.233          | 0.155 |       | 0.300          | 3.55 |
| 11    | 0.343          | 0.258 | 0.280 | 0.413          | 2.56 |
| 12    | 0.305          | 0.188 | 0.178 | 0.345          | 2.78 |
| 13    | 0.385          | 0.300 | 0.220 | 0.430          | 3.22 |
| 14    | 0.358          | 0.160 | 0.195 | 0.483          | 2.50 |
| 15    | 0.318          | 0.270 |       | 0.418          | 2.55 |
| 16    | 0.273          | 0.273 |       | 0.345          | 3.00 |
| 平 均   | 0.273          | 0.240 | 0.251 | 0.358          | 3.46 |

## 4.6 暴露環境の調査

暴露環境の腐食性を調査する目的で、試験場所付近の海水の水質を調査した。千葉沖及び阿字ヶ浦沖での調査結果を表-13にまとめて示す。

表から、千葉沖においては、標準海水と比較して多少塩分濃度が小さく、水質汚濁の指標となる $\text{NH}_4^+$ が阿字ヶ浦沖より多かったほかは特に異常は認められなかった。以上のことから、両海域は、海象条件に大きな差はあるものの、水質汚濁の点では、現時点では大差はないと判断される。

表-13 水質調査結果

| 調査場所  | 調査年月日    | 水深<br>(m) | 水温<br>(℃) | *<br>比抵抗<br>(Ω・cm) | PH  | CL <sup>-</sup><br>(g/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(g/L) | S <sup>2-</sup><br>(ppm) | DO<br>(ppm) | COD<br>(ppm) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup><br>(ppm) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>(ppm) |
|-------|----------|-----------|-----------|--------------------|-----|--------------------------|----------------------------------------|--------------------------|-------------|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 千葉沖   | 50年2月10日 | 0         | 8.5       | —                  | 8.6 | 17.61                    | 2.42                                   | —                        | 8.1         | —            | —                                     | —                                     |
|       |          | 6         | 8.5       | —                  | 8.5 | 17.66                    | 2.47                                   | —                        | 7.6         | —            | —                                     | —                                     |
|       | 50年2月18日 | 0         | 9.0       | —                  | 8.3 | 17.58                    | 2.41                                   | —                        | 8.0         | —            | —                                     | —                                     |
|       |          | 6         | 8.5       | —                  | 8.3 | 17.62                    | 2.40                                   | —                        | 7.2         | —            | —                                     | —                                     |
|       | 51年2月24日 | 0         | 9.5       | —                  | 8.2 | 18.19                    | 2.53                                   | 検出せず                     | —           | —            | —                                     | —                                     |
|       |          | 6         | 9.5       | —                  | 8.2 | 18.28                    | 2.51                                   | 〃                        | —           | —            | —                                     | —                                     |
|       | 51年10月1日 | 0         | 22.0      | 22.3               | 7.7 | 18.10                    | 2.43                                   | 〃                        | 8.0         | 23.2         | 0.24                                  | 0.10                                  |
|       |          | 4         | 22.0      | 22.3               | 7.4 | 17.90                    | 2.44                                   | 〃                        | 7.2         | 23.8         | 0.22                                  | 0.26                                  |
| 阿字ヶ浦沖 | 51年2月20日 | 0         | 9.2       | —                  | 8.2 | 19.32                    | 2.65                                   | 〃                        | —           | —            | —                                     | —                                     |
|       | 10月20日   | 0         | 17.0      | 21.9               | 8.0 | 18.50                    | 2.56                                   | 〃                        | 8.2         | 27.4         | 0.06                                  | —                                     |

\* 25℃換算

## 5. 研究結果の総括

昭和48年度から昭和51年度にわたり実施してきた防食技術及び防食材料に関する文献ならびに実態調査、その結果をもとに実施した試験杭や試験片の製作及び打込みによる防食被覆の施工ならびに建設工事に伴う損傷度などの調査、暴露後の防食被覆の波浪や漂流物あるいは付着生物による損傷及び腐食や老化などによる劣化状況の調査など、海洋鋼構物の飛沫帯及び干満帯に適用する防食技術の開発を目指して実施してきた一連の研究により明らかとなった防食被覆に関する主な事項はつぎのとおりである。

(1) 厚塗型無機質シンクリッチペイントの上に厚塗型タールエポキシや厚塗型エポキシを塗装する塗装系の防食性はかなり優れており信頼性も高い。耐衝撃性の不足はガラスクロス併用に改善できる。

(2) 防食下地として亜鉛溶射やアルミ溶射を施すことは、上塗の付着性に問題があるので適当でない。

(3) アルミ溶射は、飛沫帯ではよいが干満帯への適用には問題がある。

(4) エポキシモルタルライニングは、海水の浸透を完全に防止できるような材料及び施工面での改善が必要である。

(5) ポリエチレンライニングは、付着性の改善及び耐候性に関するみきわめが必要であり、フジボの食い込みに対しても今後の調査が必要である。

(6) コンクリートライニングは、打込みに対して問題があるので現地施工とすべきである。

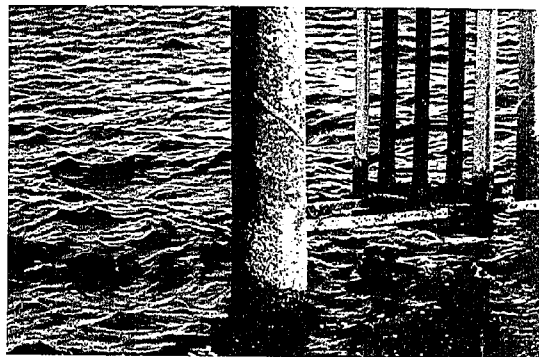
(7) ステンレスは、耐孔食性に問題があるので材質の選定には特に注意が必要である。

(8) 耐海水鋼は、飛沫帯や干渉帯での耐食性に関するデータを集積する必要がある。

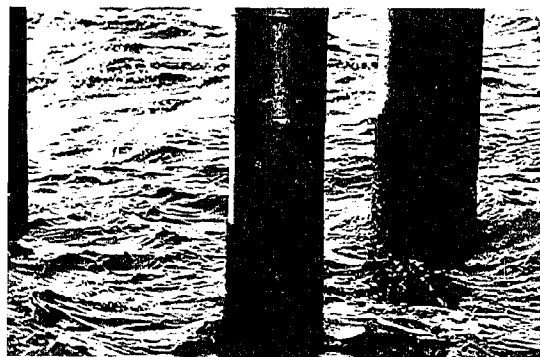
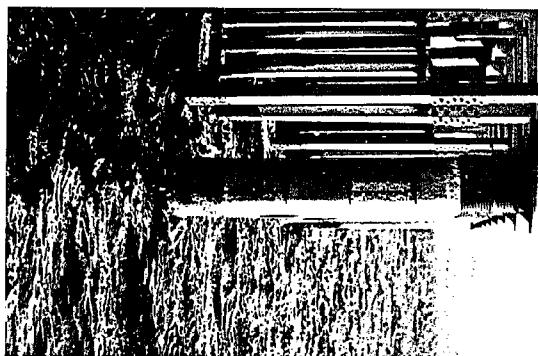
#### 6. 海洋鋼構造物防食指針

本研究は、試験期間が短かいため、まだ十分なデータは得られていないが、現在までに得られたデータは、すべて、現時点における最新のものである。総合技術開発プロジェクトによる研究は昭和51年度で終了とするため、最後のしめくくりとして、現在までに得られたデータを基礎とし、これに建設省土木研究所で実施してきた各種試験のデータ及び防食工法や防食材料に関する最新の情報を加味して、海洋鋼構造物の飛沫帯及び干渉帯に適用する防食指針を作成することとした。指針は、つぎに示したとおりであるが、指針作成に至る経緯ならびに根拠となったデータの信頼性の高さからいっても、内容的には現時点における最高の技術水準にあるといえよう。

千葉沖に暴露中の試験杭（写真－１）



版 1, 1' 無 処 理



版 2, 2' ス テ ン レ ス

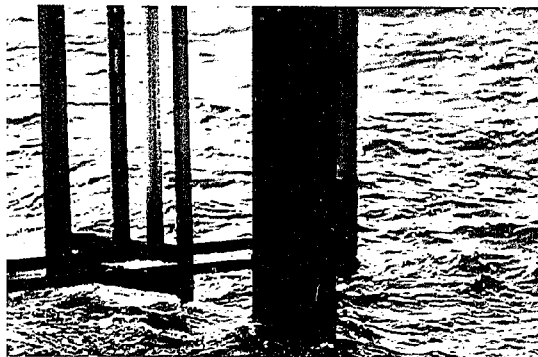


図 3 耐海水鋼

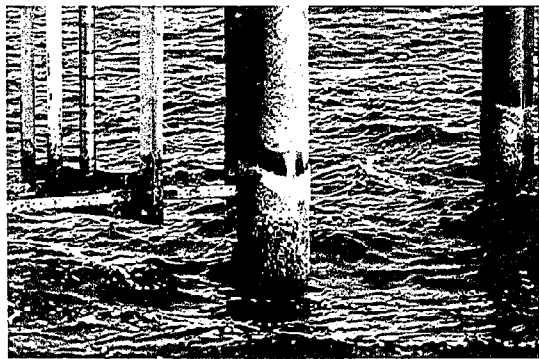
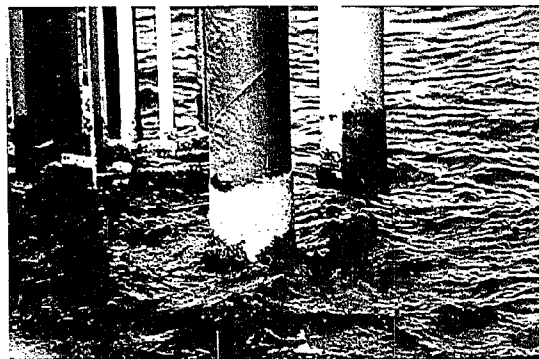
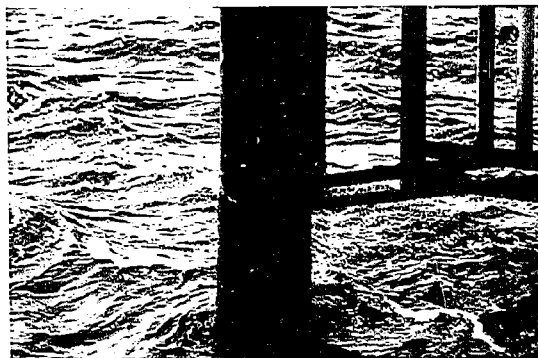
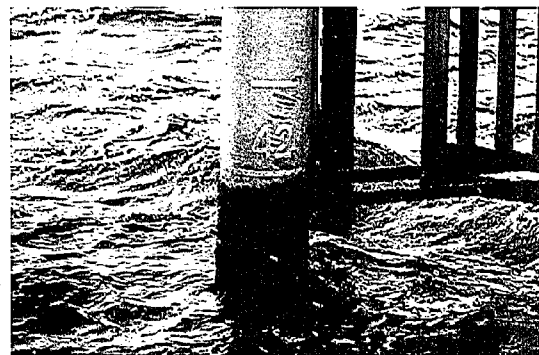
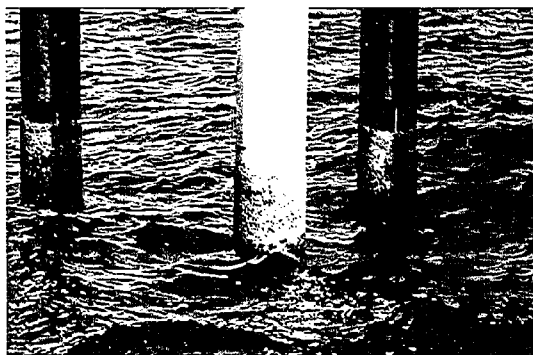


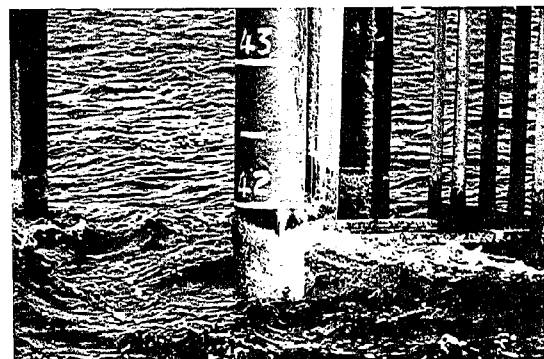
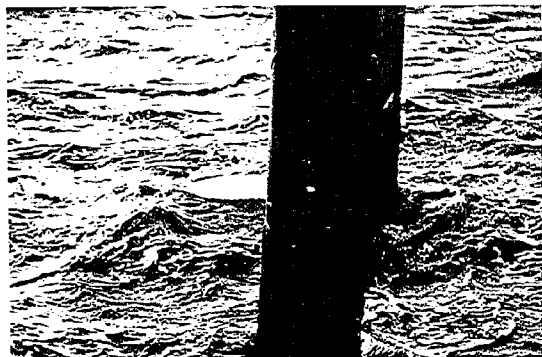
図 4, 4' アルミ溶射+厚膜型タールエポキシ



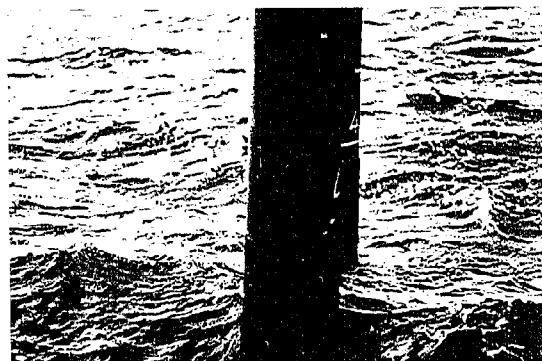
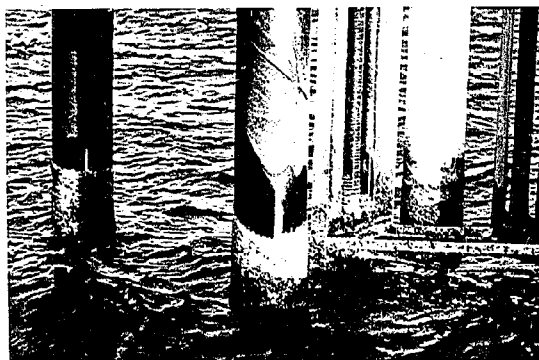
船 5, 5' アルミ溶射+ビニロンクロス補強厚膜型タールエボキシ



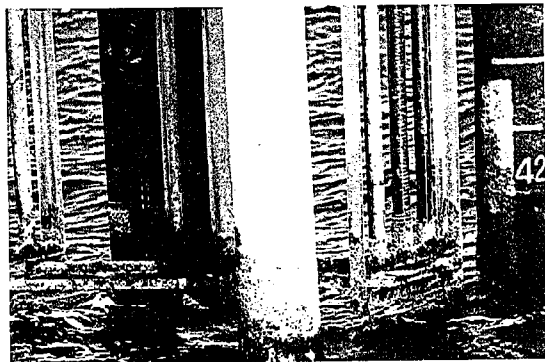
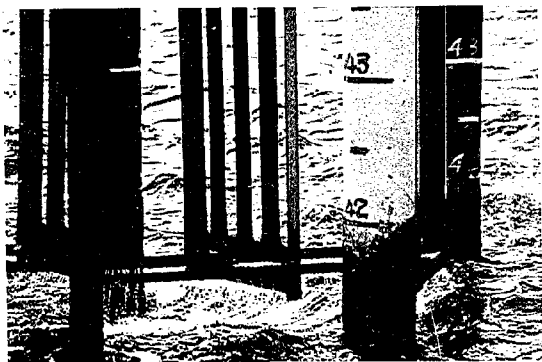
船 6, 6' アルミ溶射(封孔処理)



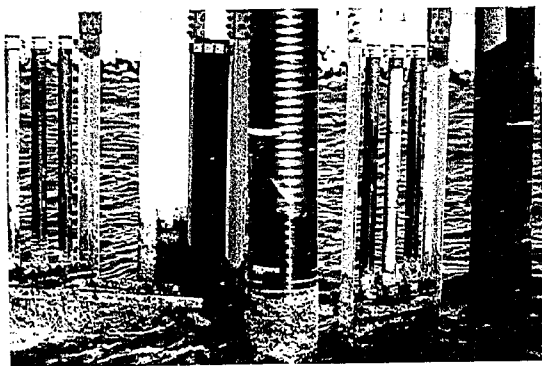
底 7, 7' 亜鉛溶射十厚膜型タールエポキシ



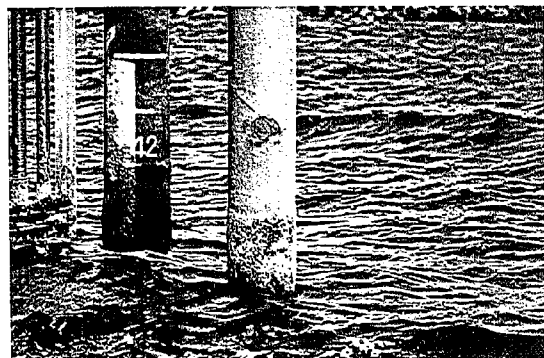
底 8, 8' 厚塗型無機質ジンクリッチペイント十厚膜型タールエポキシ



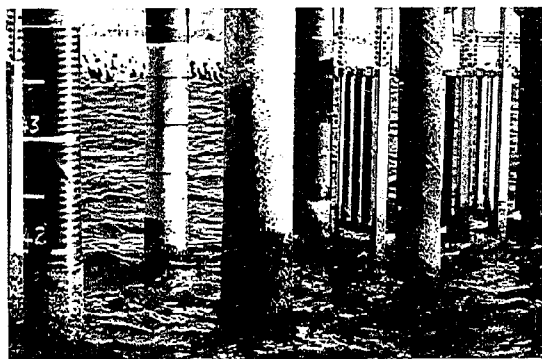
底 9, 9' 厚塗型無機質シンクリッチペイント+エポキシ+ガラスクロス



底 10, 10' ポリエチレンライニング

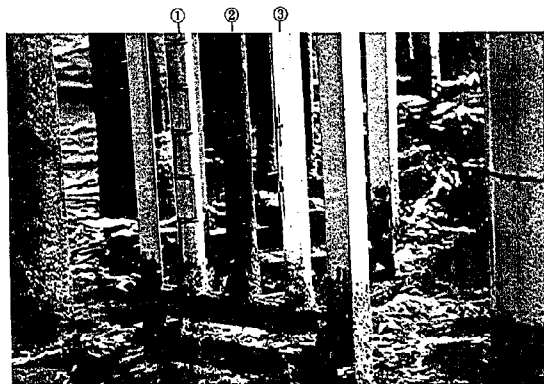


施 11, 11' レジン硬化体

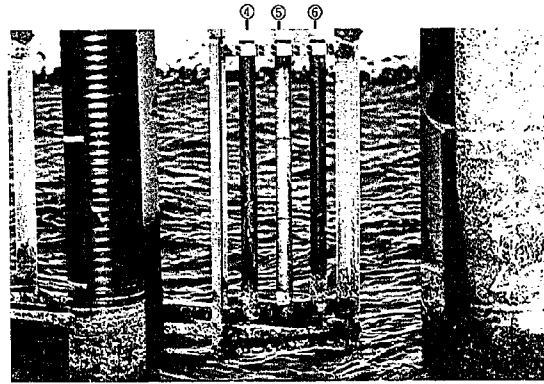


施 12, 12' ファイバーコンクリート

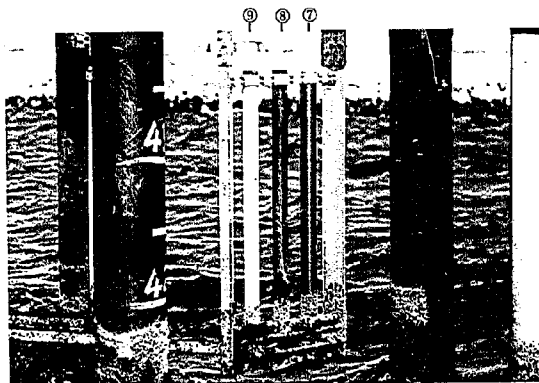
千葉沖に暴露中の試験片（写真－２）



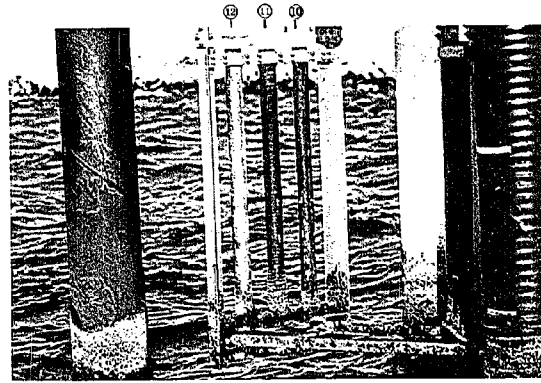
① ステンレス ② 耐海水鋼 ③ タールエポキシ+ガラスクロス



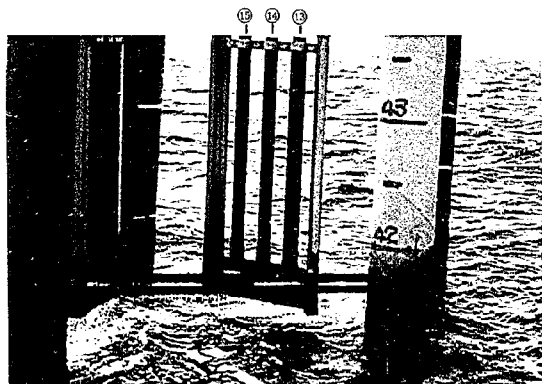
④ アルミ+タールエポキシ+ビニロンクロス ⑤ モネル ⑥ 亜鉛溶射+タールエポキシ



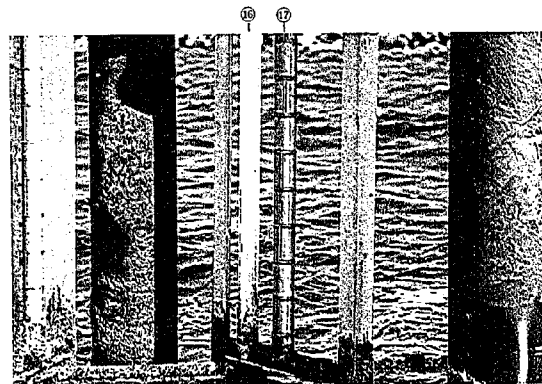
⑦ ポリエチレン ⑧ タールエポキシ ⑨ アルミ



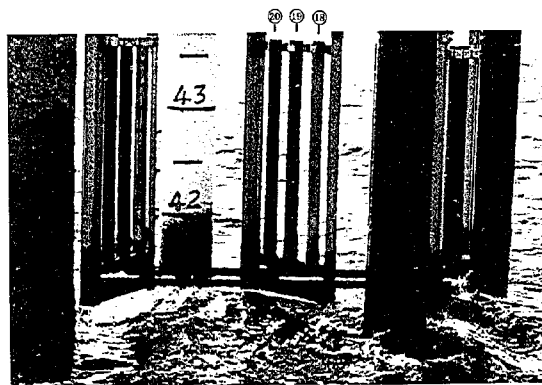
⑩ アルミ+タールエポキシ ⑪ ゴムライニング ⑫ レジン



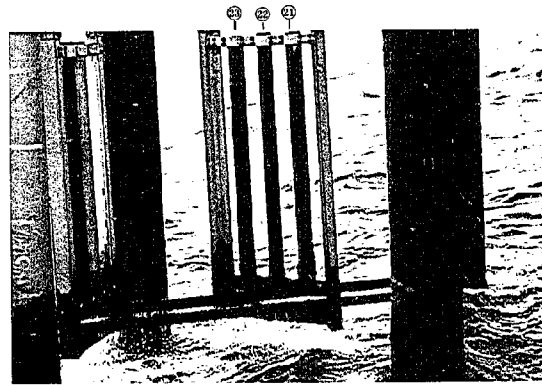
⑬ 耐海水鋼 ⑭ 亜鉛溶射+タールエポキシ ⑮ タールエポキシ



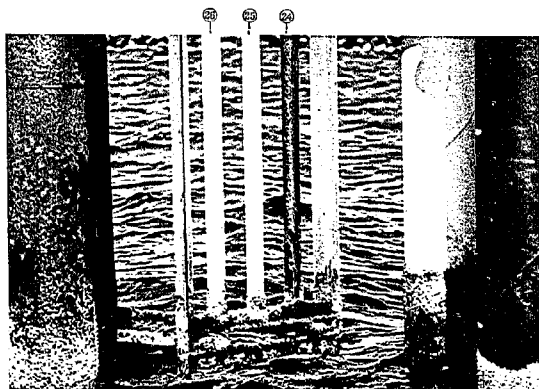
⑯ エポキシ系+ガラスクロス ⑰ ステンレス



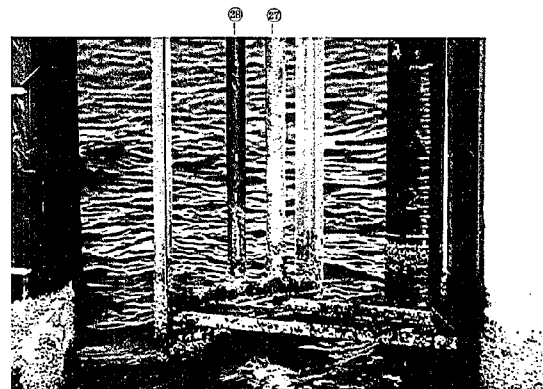
⑱ アルミ ⑲ レジン ⑳ アルミ+タールエポキシ+ビニロングロス



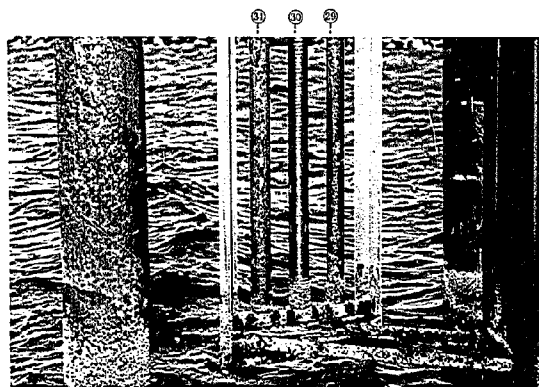
㉑ ゴムライニング ㉒ アルミ+タールエポキシ ㉓ ポリエチレン



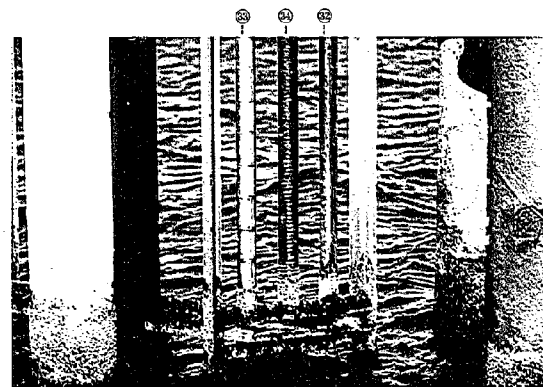
②④ 亜鉛溶射+ダールエボキシ    ②⑤ アルミ    ②⑥ エボキシ系+ガラスクロス



②⑦ レジン    ②⑧ アルミ+ダールエボキシ

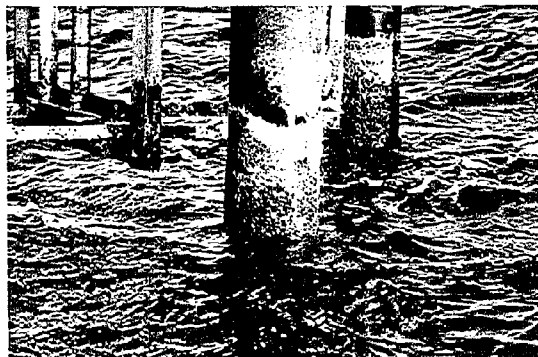


②⑨ アルミ+ダールエボキシ+ガラスクロス    ③① ポリエチレン    ③② 耐海水鋼

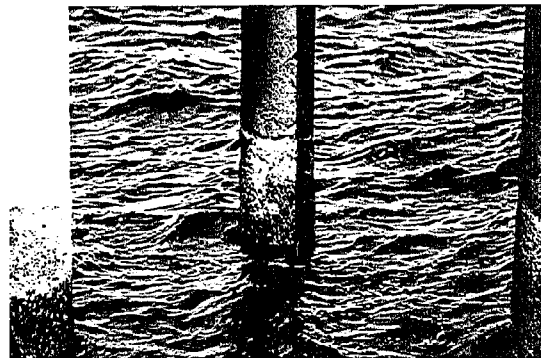


③③ ダールエボキシ    ③④ ステンレス    ③⑤ ゴムチューブ

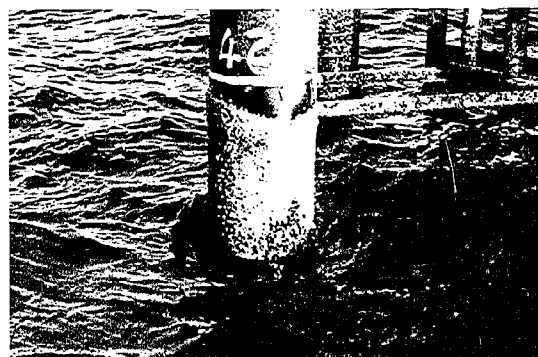
試験抗被覆の劣化状況（写真－３）



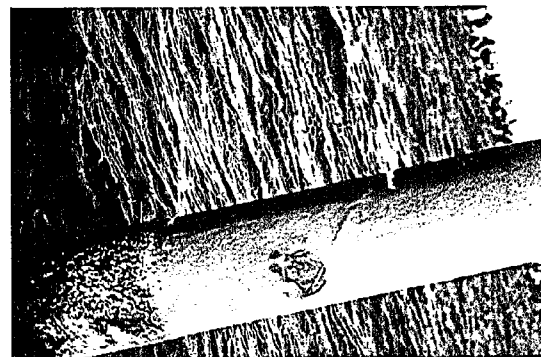
底 4 アルミ溶射+厚膜型タールエポキシ



底 7 亜鉛溶射+厚膜型タールエポキシ



底 7' 底 7 と同様



底 1 1' レジン硬化体

阿字ヶ浦沖に暴露中の試験杭（写真－４）

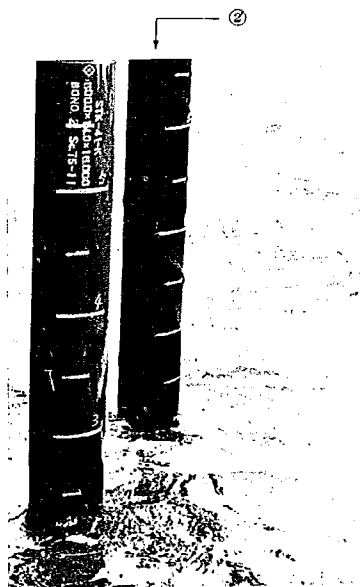
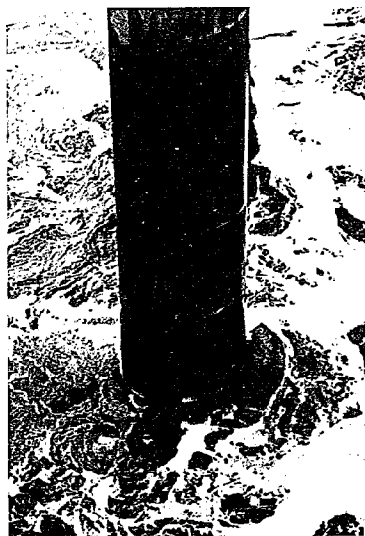
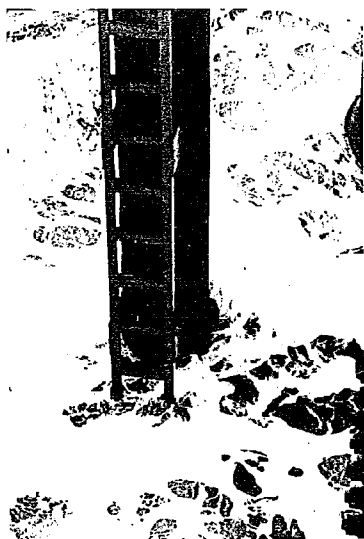




図 3 アルミ溶射+ガラスクロス補強厚  
塗型タールエポキシ

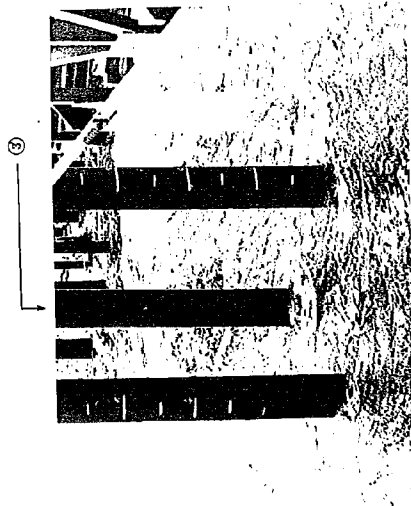


図 3' 同 左

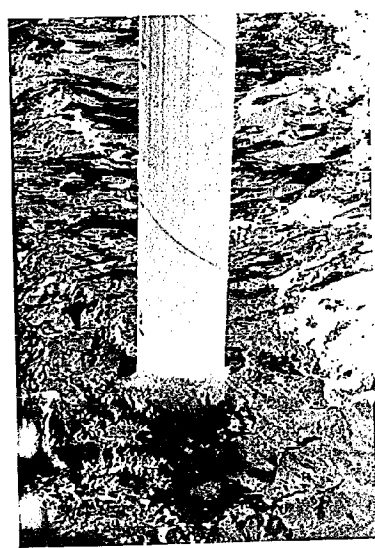


図 4 厚塗り型無機質シンクリッチペイント  
+エポキシ(ガラスクロス入り)

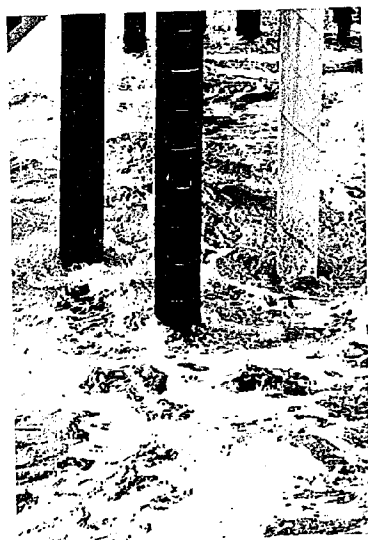
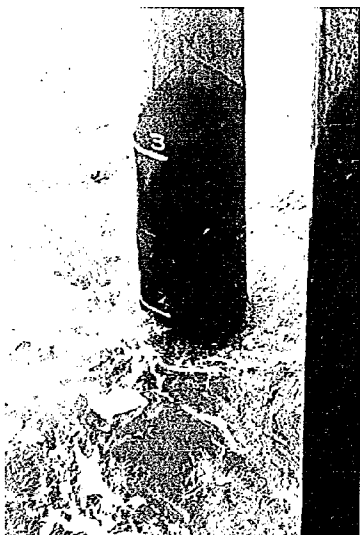
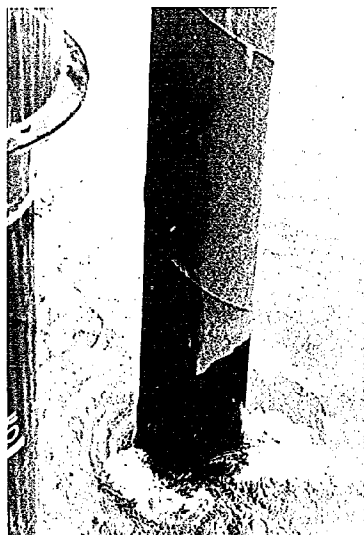


図 4' 同 左



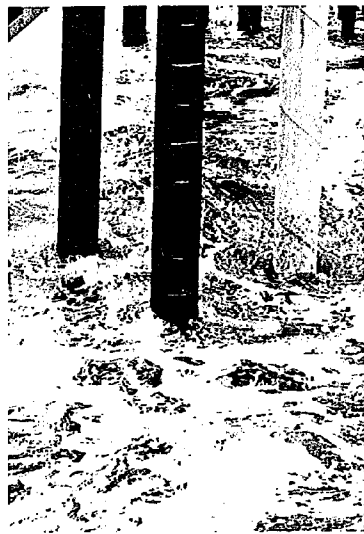
底 5 レジン硬化体



底 5' 同 左



底 6 ウレタンマスチックライニング  
骨材入り



底 6' 同 左



図 7 セメントモルタル+ポリエステルFRP



図 7' 同 左

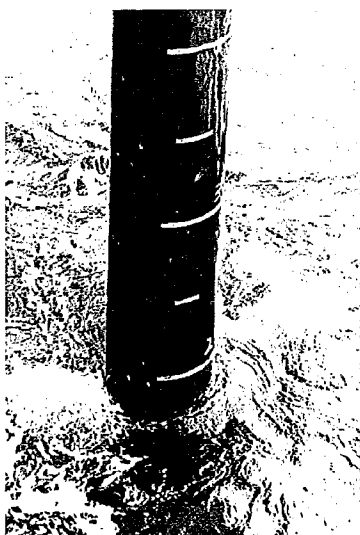


図 8 ポリウレタンゴムライニング

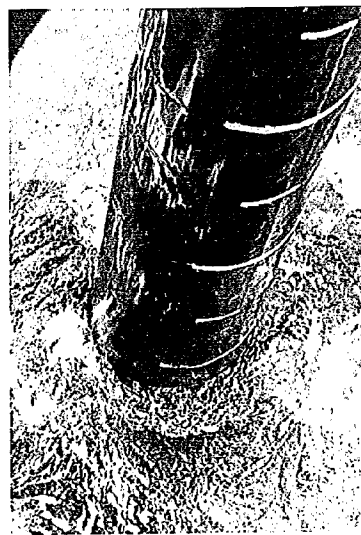


図 8' 同 左

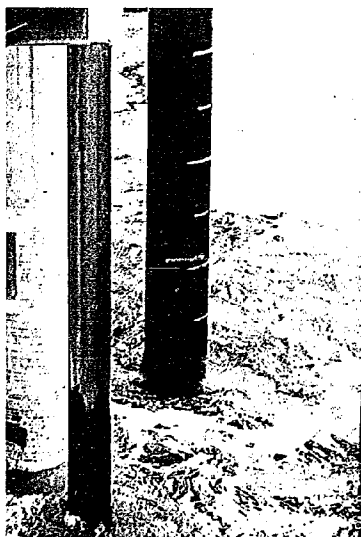


図 9 ポリエチレン押し出しライニング

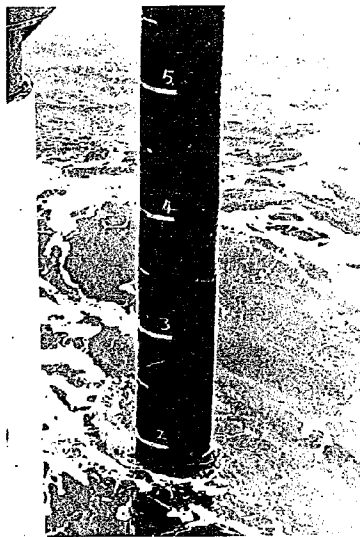


図 9' 同 左

# 海洋鋼構造物の防食指針・同解説

(昭和51年度版)

# 目 次

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 1 総 則 .....               | 61 |
| 1.1 適用範囲 .....            | 61 |
| 1.2 防食の基本方針 .....         | 61 |
| 2 防 食 法 .....             | 61 |
| 2.1 防食法の選択 .....          | 61 |
| 2.2 塗 装 .....             | 62 |
| 2.3 有機質ライニング .....        | 65 |
| 2.4 無機質ライニング .....        | 67 |
| 2.5 金属溶射 .....            | 68 |
| 2.6 低合金系耐海水鋼および犠牲鉄板 ..... | 68 |
| 2.7 耐食性金属材料 .....         | 69 |
| 3 施工および維持, 補修 .....       | 70 |
| 3.1 施 工 .....             | 70 |
| 3.2 維持, 補修 .....          | 71 |
| あ と が き .....             | 71 |

## 1. 総 則

### 1.1 適用範囲

本指針は、海洋鋼造物の飛沫帯、干満帯の防食に適用する。

#### 〔解 説〕

海洋鋼構造物において最も激しい腐食作用を受ける飛沫帯や干満帯の防食は、これまでは塗装を主体として行われてきたが、従来の方法では数年間しか耐用年数の保証ができないものが多かった。

一方、これからの恒久的な海洋鋼構造物の耐用年数は数十年から百年といわれており、従来の防食技術ではとうてい対処できないため、より長期の耐用年数を保証し得る防食技術の開発が望まれていた。

このため、建設省では、総合技術開発プロジェクトの構想に則り、官民の共同研究により広く学、官、民の学識経験者の英知を結集して、文献及び実態の調査ならびに大規模な現地実験をおこない、得られた成果を現在の技術水準で防食指針としてとりまとめたものである。

### 1.2 防食の基本方針

海洋鋼構造物の飛沫帯及び干満帯に施す防食被覆は、工場施工を原則とし、つぎの事項を考慮して行う。

- |           |            |
|-----------|------------|
| 1 防食被覆の特性 | 2 維持管理の難易度 |
| 3 着色の必要性  | 4 経 済 性    |

#### 〔解 説〕

飛沫帯及び干満帯は、海洋環境の中で最も腐食の激しい環境であるため、構造物のこれらの部位における防食の成否は構造物全体の寿命を左右する。したがって、海洋鋼構造物の飛沫帯及び干満帯の防食法は、防食性能とその耐久性を中心に選定すべきである。

いずれの防食法においても、防食性能とその耐久性は施工条件の影響を大きく受けるので、十分に管理された工場での施工を原則とし、現地施工は最小限にとどめる必要がある。

しかし、いかに防食性能や耐久性の優れた防食法であっても、補修性や経済性を無視したものであってはならない。また、構造物全体の美観、周囲の景観との調和あるいは航行船舶に対する安全の確保などの必要から着色を考慮する場合がある。

## 2. 防 食 法

### 2.1 防食法の選択

海洋鋼構造物の飛沫帯の防食に適用する防食法は、次の中から選択する。

- 1 塗 装
- 2 有機質ライニング
- 3 無機質ライニング

- 4 金属溶射
- 5 低合金系耐海水鋼及び犠牲鉄板
- 6 耐食性金属材料

〔解 説〕

(1) 海洋鋼構造物の飛沫帯および干満帯の防食法は、構造物の種類（固定式、移動式など）、構造（補修の可否、溶接個所の多少など）、設置される環境、必要耐要年数などを考慮して、最適のものを選択しなければならない。

(2) 推奨される防食仕様の代表的な例とそれらの長所および短所を表1に示す。なお各防食法の特徴、施工などについては2.2以降に詳述する。

2.2 塗 装

本防食法は次の中から選択する。ただし、塗膜の機械的強度の向上及び厚膜化が必要な場合にはガラスクロスなどのクロス材を併用する。

1. 厚膜型無機ジंकクリッチペイント+タールエポキシ樹脂塗料
2. 厚膜型無機ジंकクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料
3. 厚膜型有機ジंकクリッチペイント+タールエポキシ樹脂塗料
4. 厚膜型有機ジंकクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料

〔解 説〕

(1) 海洋鋼構造物の防食に多用されている各種の合成樹脂塗料は、金属被覆材料ならびに合成樹脂ライニング材にくらべて

- (a) 施工がしやすく、海洋鋼構造物のような大型構築物の製作工程に組入れやすい。
- (b) 防食寿命はそれほど長くないが、施工費は安く補修や塗り替えが容易である。
- (c) 美装効果大きい。

といった特長がある。

(2) 海洋鋼構物の防食下地の塗装には、厚膜型無機ジंकクリッチペイントと厚膜型有機ジंकクリッチペイントが適しているが、防食効果は無機系の方が優れているため通常は無機系が用いられている。しかし、施工性は有機系の方がよいので、施工性を重視する場合は有機系が適している。

膜厚は厚いほど防食性はよいが、厚すぎると塗装後塗膜にわれが入ることがあり、通常は約75  $\mu$ に管理されている。

ジंकクリッチペイントを塗装する場合の鋼材面の除錆度は、電気化学的防食効果及び付着性を十分に発揮させる必要から、プラストによりSISのSa 2.5以上（日本造船研究会、塗装前鋼材表面処理基準Sh 2以上またはSd 2以上相当）、表面あらさは3.5 Z～5.0 Zとするのが望ましい。

厚膜型無機ジंकクリッチペイントの塗膜は、多孔質構造のため、この塗膜の上に塗装すると上

表1 代表的な防食法の特長

| 防 食 系              | 代 表 的 な 仕 様 例               |                         |              | 長 所                                                                          | 短 所                                                   |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                    | 防 食 材 料                     | 被膜厚さ mm                 | 施 工 法        |                                                                              |                                                       |
| 塗 装                | 厚膜型無機シンクリッチ<br>ペイント+タールエポキシ | 0.7 0                   | 塗 装          | ○施工が容易で、<br>補修しやすい。<br>○美装効果が大きい<br>(エポキシ)<br>○防食効果の割に<br>経済的である。<br>○実績が多い。 | ○長期の防食は期待<br>できない。<br>○衝撃に弱い。<br>(クロスの併用<br>により改善される) |
|                    | 厚膜型無機シンクリッチ<br>ペイント+エポキシ    | 0.4 5                   |              |                                                                              |                                                       |
|                    | 厚膜型有機シンクリッチ<br>ペイント+タールエポキシ | 0.7 0                   |              |                                                                              |                                                       |
|                    | 厚膜型有機シンクリッチ<br>ペイント+エポキシ    | 0.4 5                   |              |                                                                              |                                                       |
|                    |                             |                         |              |                                                                              |                                                       |
| 有機質ライニング           | エポキシ系レジンモルタル                | 5                       | 塗 装          | ○耐久性、耐衝撃<br>性に富む。<br>○施工が比較的容<br>易である。                                       | ○施工管理に注意を<br>要する。                                     |
|                    | ポリエチレン                      | 5                       | 押し出し         | ○工業的に大量生<br>産可能で、安価で<br>ある。                                                  | ○管以外への適用は<br>むずかしい。<br>○黒色に限定される。                     |
| 無機質ライニング           | セメントモルタル                    | 100                     | 型 枠          | ○使用実績が多い。                                                                    | ○現地施工以外はむ<br>ずかしい。<br>○衝撃に弱い。                         |
|                    | 銅製型枠+セメントモル<br>タル           | 型枠10<br>セメント<br>モルタル200 | 型 枠<br>(二重管) | ○特に耐久性がす<br>ぐれている。                                                           | ○現地施工に限られ<br>る。<br>○高価である。                            |
| 金属溶射               | アルミニウム溶射+封孔処<br>理           | 0.15                    | 溶 射          | ○防食効果の割に<br>経済的である。                                                          | ○施工管理に注意を<br>要する。<br>○干渉帯での使用に<br>は注意を要する。            |
| 低合金系耐海水<br>鋼及び犠牲鉄板 | 低合金系耐海水鋼                    | —                       | 構造材とし<br>て使用 | ○耐用年数に応じ<br>た設計が可能であ<br>る。<br>○衝撃に強い。                                        | ○適用が限定される。                                            |
|                    | 犠牲鉄板                        | 1 2                     | 巻きつけ         |                                                                              |                                                       |
| 耐食性金属材料            | チタン                         | 0.5                     | クラッド         | ○耐食性が特にす<br>ぐれている。                                                           | ○高価である。<br>○適用が限定される。<br>○異種金属接触腐食<br>に注意を要する。        |
|                    | モネル                         | 2                       | 巻きつけ         |                                                                              |                                                       |
|                    | ステンレス(耐海水性)                 | 4                       |              |                                                                              |                                                       |

塗り塗膜にふくれが発生しやすいので、上塗りするタールエポキシ樹脂塗料やエポキシ樹脂塗料を50%程度のシンナーでうすめたものを用いて封孔処理をおこなう必要がある。

(3) 厚膜型シンクリッチペイントの塗膜に上塗りする塗料には、防食性能を重視する場合はタールエポキシ樹脂塗料が適しており、航行船舶に対する安全の確保や構造物の美観維持など着色が必要な場合はエポキシ樹脂塗料を用いる。膜厚はいずれの場合も厚いほど耐久性は大きくなるが、通常は、構造物の性格、補修の難易度、及び経済性などを勘案して決定される。

タールエポキシ樹脂塗料やエポキシ樹脂塗料は、ともに耐水性や耐薬品性に優れ、海中生物の付着に対しても抵抗性が優れているが、低温時の乾燥性や塗装間隔が長くなった場合の塗膜の層間付着性に問題がある。低温時には、タールエポキシ樹脂塗料の場合はタールウレタン樹脂塗料、エポキシ樹脂塗料の場合はウレタン樹脂塗料を用いるべきである。

タールエポキシ樹脂塗料は、エポキシ樹脂塗料より1回当りの膜厚が大きく、しかも価格も安いので、防食性を重視した場合には経済効率が高い。

長期防食に用いるタールエポキシ樹脂塗料には、エポキシ樹脂含有率の高いJIS K 5664の1種（エポキシ樹脂含有率30%以上）を用いる。

(4) 塗膜の耐衝撃性や耐摩耗性などの機械的強度を向上させるには、ガラスクロスなどのクロス材を併用するのがよい。

この場合、クロスの厚みは約150 $\mu$ 以上あることが望ましく、タールエポキシ樹脂塗料やエポキシ樹脂塗料と併用するクロス材としては、通常約150～300 $\mu$ のガラスクロスが用いられている。クロス材は1回巻きより2回巻きが望ましい。クロス材と併用する塗料は、厚膜に仕上げる必要上、低溶剤タイプまたは無溶剤タイプのものを用いる。

(5) 防食仕様の例をあげると表2のとおりである。

表2 防食塗装仕様例

| 仕様例<br>工 程    | A                                     | B                                             | C                                | D                                                |
|---------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 下地処理          | 除錆度 Sh 2以上またはSd 2以上<br>表面のあらさ 35Z-50Z |                                               |                                  |                                                  |
| 下塗り塗装         | 厚膜型無機シンクリッチペイント 75 $\mu$              |                                               |                                  |                                                  |
| ミスト・コート       | タールエポキシ樹脂塗料<br>(10 $\mu$ )            |                                               | 厚膜型エポキシ樹脂塗料<br>(10 $\mu$ )       |                                                  |
| 中塗り～<br>上塗り塗装 | タールエポキシ<br>樹脂塗料<br>200 $\mu$ ×3回      | タールエポキシ<br>樹脂塗料<br>(ガラス・クロス併用)<br>1,000 $\mu$ | 厚膜型エポキシ<br>樹脂塗料<br>120 $\mu$ ×3回 | ライニング用<br>エポキシ樹脂塗料<br>(ガラス・クロス併用)<br>1,000 $\mu$ |
| 合 計 膜 厚       | 675 $\mu$                             | 1,075 $\mu$                                   | 435 $\mu$                        | 1,075 $\mu$                                      |

895

### 2.3 有機質ライニング

本防食法は、次の中から選択する。

1. ゴムライニング
2. ポリエチレン樹脂押し出しライニング
3. レジンモルタルライニング
4. 強化プラスチックライニング

#### 〔解説〕

(1) 有機ライニングは、従来、タンクや化学プラントの内面などに用いられて来たが、材料費、施工費とも高価で、一般的ではなかった。

近年、パイプの被覆が工業化されたのを始め、ライニング材料ならびに施工法の開発が進み、海洋鋼構造物の飛沫帯及び干満帯の防食法として将来性のあるものとなりつつある。

有機質ライニングは、塗装に比して被膜厚さは厚く、耐久性は向上するが塗装同様に下地処理の良否が耐久性に影響するので十分注意しなければならない。

防食に用いられる材料と施工法を表3に示す。

表3 ライニング材料と施工法

| 有<br>機<br>質<br>ラ<br>イ<br>ニ<br>ン<br>グ | 材 料                    | 施 工 法    | 例                          |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------------------------|
|                                      | 液状樹脂<br>+ 充填材<br>+ 補強材 | モルタルガン吹付 | エポキシレジンモルタル<br>ウレタンレジンモルタル |
|                                      |                        | ハンドレイアップ | FRPライニング                   |
|                                      |                        | 型ワク流し込み  | ウレタンゴムライニング                |
|                                      | シート<br>又はフィルム          | ビス止め法    | FRPライニング                   |
|                                      |                        | はめ込み法    | FRPライニング                   |
|                                      |                        | 接着法      | ゴムライニング                    |
|                                      | 粉末樹脂<br>粉末プレポリマー       | 溶射法      | ポリエチレン                     |
|                                      |                        | 流動浸漬法    | ポリエチレン<br>塩ビ、エポキシ          |
|                                      |                        | 静電法      | 塩ビ、エポキシ<br>アクリル            |
|                                      | 粒状樹脂                   | 押し出し成型   | ポリエチレン<br>ナイロン<br>塩ビ       |

(2) ゴムライニングは、可撓性、耐衝撃性、耐摩耗性に優れ、熱膨脹係数は小さく、破損しても局部

に限定される等の特色がある。弗素ゴム、シリコンゴム等の高価な合成ゴムを除いて耐候性にはやや難点があるが、クロロプレン系ゴム並びに最近開発されつつあるウレタン系ゴムが実用的材料である。

ウレタン系ゴムは、材料的性質、特に引張強さ、引裂強さ、耐摩耗性にすぐれているが、コストがやや高い。

クロロプレン系ゴムは、ウレタン系ゴムに比し安価ではあるが性能はやや劣る。

施工法には、シート貼り合わせ法、注型法、塗布法等がある。厚さは3 mm以上必要である。施工にあたっては、ブラストによって除錆度Sa 2以上とし、密着力の向上を計るために適切なプライマーを塗布することが望ましい。

(3) ポリエチレン樹脂押し出しライニングに用いる樹脂は安価であり、かつ耐衝撃性も比較的強く、又、貝類や海藻類の付着が少ないことが特色であり、主として鋼管の被覆に用いられる。耐候性の向上をはかるためには、カーボンブラックを配合したものを用いるほうがよいが、黒色となり美観さは犠牲となる。

施工に当っては、予熱鋼管に樹脂、アスファルト、ゴム類を主成分とするアンダーコートを塗布してから、押し出し機でポリエチレン樹脂を押し出して被覆する。厚さは、アンダーコートを含めて3 mm以上が必要である。

アンダーコートはポリエチレン樹脂と鋼管の接着に寄与するとともに万一きずがついた場合にはじみ出して補修する効果もある。

(4) レジンモルタルライニングは、充填材と樹脂を混合し、モルタル状にして被覆する方法である。硬化速度が調整でき、短期間に高強度が得られる。耐摩耗性、耐衝撃性にすぐれ、比較的安価でありいかなる形状の鋼材面にも施工できる。

樹脂には、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂等が用いられる。

接着性は、エポキシ樹脂のほうが優れているが、価格的には、ポリエステル樹脂が有利である。性能は、充填材、配合比等に大きく左右されるため優劣はつけ難い。

充填材には、炭酸カルシウム、アルミナ、珪石、石英などの微粉および川砂、砕砂、人工砂等が用いられる。

レジンモルタルライニングの場合にも、鋼材面との付着性等を考慮してプライマーを用いることが望ましい。施工に当っては、充填材と樹脂の混合を十分にし、施工後は乾燥しやすい状態に保つのがよく、場合によっては加熱養生も効果的である。厚さは5 mm以上必要である。

(5) 強化プラスチック (FRP) は、ガラス繊維を補強材として、熱硬化性樹脂を用いた積層品である。

強化プラスチックに用いられる樹脂は、不飽和ポリエステル樹脂が最も一般的であるが、その他にエポキシ樹脂、アクリル樹脂が用いられることもある。不飽和ポリエステル樹脂は、硬化収縮が大きく、耐候性にも難点がある。エポキシ樹脂は、硬化収縮が小さく機械的強度も高いが、硬

化時間が長く高価である。アクリル樹脂は、耐候性にすぐれているがまだ一般的でない。

補強材に用いられるガラス繊維には長繊維製品（主としてガラスクロス）と単繊維製品（主としてガラスマット）がある。この他に着色剤等も配合される。

強化プラスチックは、強度が極めて高く、また鋼材の形状にあわせて自由に成型し、ライニングできる特徴がある。

しかし、鋼材面には直接付着しないので、鋼材面とFRPの間に接着剤をかねてセメントモルタル、エポキシ樹脂、アスファルトを充填する方法が一般に用いられる。したがって、充填材に何を用いるかによって防食効果は異なる。

充填材を用いない方法もあるが、その場合には端部のシールが問題となるので十分注意しなければならない。

(6) 防食仕様の例をあげると、表4のとおりである。

表4 有機質ライニング防食仕様例

|                        | ゴムライニング<br>(ウレタンゴム)           | ポリエチレン<br>押し出しライニング                  | レジンモルタル<br>(エポキシ)                                         | レジンモルタル<br>(ウレタン)               |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 除 錆                    | ショットブラスト<br>Sa2               | 機械的除法                                | ブラスト<br>Sa2                                               | ブラスト<br>Sa2                     |
| プライマー<br>又は<br>アンダーコート | フェノール系<br>プライマー<br>(数 $\mu$ ) | ゴム、アスファルト系<br>アンダーコート<br>(0.3~0.5mm) | —                                                         | エポキシ<br>プライマー<br>(7~10 $\mu$ )  |
| 主 体<br>ライニング           | ポリエーテル系<br>注型ライニング<br>(4~7mm) | 高密度又は<br>低密度ポリエチレン押<br>出し<br>(4~5mm) | レジンモルタル<br>(エポキシ20wt%<br>骨成 80wt%)<br>モルタルガン吹付<br>(4~6mm) | 二液ウレタン<br>樹脂塗布<br>骨材散布<br>(3mm) |
| 後 処 理                  | 加熱硬化<br>脱 型                   | 冷 却                                  | 放 置                                                       | 放 置                             |

#### 2.4 無機質ライニング

本防食法は、次の中から選択する。

1. セメント硬化体による被覆
2. 鋼製型枠＋セメント硬化体による被覆

〔解 説〕

(1) セメント硬化体（モルタル、コンクリートなど）は、古くから港湾構造物や橋脚などに広く用いられている信頼性の高い材料である。防食に用いる場合は、その密実さを確保する必要から高品質と入念な施工が要求される。また、被覆の厚みの確保とひびわれ防止が防食上極めて重

要である。したがって、防食に用いるセメント硬化体は、土木学会「コンクリート標準示方書」に準拠し、所定の品質を確保しなければならない。

(2) セメント硬化体による防食被覆は、曲げや衝撃に弱いため、運搬及び施工時の衝撃などにより、割れや剝離を生じる可能性があるため、現地施工とする必要がある。これらの欠点を改良するため、ポリマーセメントコンクリート、ポリマー含浸コンクリート、繊維コンクリート、ポリマー繊維コンクリートなどのコンクリート複合体が開発されつつある。

(3) セメントモルタルを注入するための鋼製型枠をそのまま防食材として利用する方法は、長期防食法として極めて有効である。

この場合は、鋼製型枠に塗装などを施すことにより、着色や防食寿命の延長が可能である。

## 2.5 金属溶射

本防食法は、次の方法とする。

アルミ溶射＋封孔処理

### 〔解説〕

(1) 海洋環境では亜鉛溶射被膜よりも、アルミニウム溶射被膜の方が耐食性が優れている。アルミニウム溶射被膜は、鋼素地に対して犠牲陽極として働くので、局部的に鋼素地が露出しても防食される。

溶射被膜は、多孔質であるから、封孔処理を施すことが必要である。封孔処理材としては、通常、エポキシ樹脂塗料や塩化ビニル塗料などを使用する。溶射被膜は、化学的活性度が高いため、封孔処理は、溶射終了後速やかに実施する必要がある。

(2) 溶射被膜の性能は、施工条件の影響を受け易いので、膜厚、下地処理、溶射施工などは、以下に示す如く規格化されている。

JIS H 8301-71 アルミニウム溶射

JIS H 8663-61 アルミニウム溶射製品試験法

JIS H 9301-71 アルミニウム溶射作業標準

また、溶射作業は、下地処理を含めて熟練を要するので、極力自動化するとともに、日本溶射協会の溶射管理士、技能士の資格を有する者の管理ならびに施工が望ましい。

(3) 飛沫帯及び干満帯をアルミニウム溶射で防食する場合は、電気防食を併用する必要がある。その時の防食電位は、アルミニウム被膜の電位より卑に保持する必要がある。

## 2.6 低合金系耐海水鋼及び犠牲鉄板

本防食法は、次の中から選択する。

1 犠牲鉄板巻

2 耐海水銅板巻

3 耐海水鋼の構造物素材使用

### 〔解説〕

(1) 1950年代における海洋鋼構造物の防食は、腐食する分だけ構造物の鋼板の厚みを増すいわゆる腐食代を見込む方法によりおこなわれたが、構造物の鋼板の厚肉化には限度があるほか、全面腐食や孔食による構造物の損傷は避けられず、この方法に代るものとして、厚い鉄板を巻いて溶接する犠牲鉄板巻きによる防食法が採用されるようになった。この方法は、板厚が大きいので耐衝撃性に優れ、コストも低いなどの利点がある。しかし板厚があまり大きくなると重量や溶接その他に問題が生ずるので、板厚は12mm程度、防食寿命は10年程度とする例が多い。なおこの場合平均腐食速度として $0.5\text{ mm/y r}$ 、最大孔食深さを $1\text{ mm/y r}$ 見込めば十分である。

(2) 耐海水鋼板巻は、飛沫帯において耐食性を有する低合金系耐海水鋼板を巻く方法である。本防食法は、犠牲鉄板巻に比して、同一板厚で長期間防食できる点で有利である。ただし、溶接に際しては、耐食性の観点から合金系の専用溶接棒を使用することが必要である。また、異種金属接触腐食を防ぐために、構造物本体との継手部分（海中上部）に十分な防食塗装あるいはライニングを施すか、または電気防食を施す必要がある。

現在開発されている耐海水鋼には、合金元素としてP、Cuを含む飛沫帯用（一般構造用）と、Cu、Crを含む飛沫帯～海水中用（溶接構造用）の2種類がある。これらの鋼は、一般構造用または溶接構造用の圧延鋼材規格に準じて製造されているが、成分系によって強度、靱性、溶接性、耐食性に差異がある。したがって、本防食法の適用に際しては、必要に応じてこれらの規格、特性値を決定することとするが、炭素鋼の2倍以上の耐食性を有するものを使用することが望ましい。

(3) 耐海水鋼を構造物素材として使用する方法は、構造物の形状、施工、コストなどの点で耐海水鋼板巻より有利である。また異種金属接触腐食防止対策も不用である。

なお、本防食法における耐海水鋼とその適用に関しては、上記解説(2)項に準ずるものとする。

(4) 犠牲鉄板及び耐海水鋼に塗装を施せば色彩の調節及び耐用年数の延長が可能である。なお、耐海水鋼に塗装を施した場合は、普通鋼に塗装を施した場合よりも塗膜の寿命は長くなる利点がある。

## 2.7 耐食性金属材料

本防食法は、次の中から選択する。

1. モネル巻
2. 耐海水性ステンレス鋼巻
3. チタンクラッド鋼
4. モネルクラッド鋼
5. 耐海水性ステンレスクラッド鋼

### 〔解説〕

(1) モネル、チタン及び耐海水性ステンレス鋼は、種々ある耐食性金属材料の中でも、海洋環

境に対してとりわけ優れた耐食性を有する金属材料である。これら材料は、他の防食材料より高価であるが、海洋建造物の飛沫帯及び干満帯の防食材料として長期間メンテナンスフリーで使用する。

(2) モネルは、ニッケルをベースとするニッケル銅合金 (J I S H 3 2 6 1) である。建造物の鋼材に巻きつけて使用する場合、その固定は両端を溶接するか又はエポキシ樹脂とガラス繊維などの絶縁材を巻いてからその上に巻きつける。建造物本体との継手部分は、異種金属接触腐食を防止するため、十分にシールするか、防食塗装や電気防食等を施す必要がある。

巻きつける板の厚みについては、あまり薄い場合は衝撃による損傷がありうるので 2 mm 程度が適当である。

(3) ステンレス鋼は、モネルに次いで使用されている。一般に SUS 304 や SUS 316 が使用される。これのステンレス鋼は、平均侵食の点では優れているが、孔食やすき間腐食が生じやすい傾向がある。これに対し Mo を 2~3 多添加した改良オーステナイト系ステンレス鋼や二相系ステンレス鋼 (SUS 329 J1) は、耐孔食性の優れた耐海水性ステンレス鋼である。

建造物への施工については、モネル巻と同様であるが、板厚は 2~4 mm が適当である。

(4) クラッド鋼は、熱間圧延法や爆発圧着法等により建造用鋼材に耐食性金属材料を接合させたものである。密着性が非常に良くすき間腐食や衝撃による剥離の心配がないのでそのまま建造材料として利用することができる。クラッド鋼の溶接は、母材側の溶接と、合せ材側の溶接とをそれぞれ分けて行う必要がある。施工に際しては、建造物本体との継手部分 (海中上部) は異種金属接触腐食防止のため電気防食を行う必要がある。

合せ材の厚みについては、建造物の耐用年数にあわせて、合せ材の耐食性 (腐食量) を主体に加工性や溶接性等を勘案して決める。チタンの場合は、表面に形成される不活性被膜 (酸化膜) により海水にほとんど侵されないが加工性や溶接性の点から厚みは 0.5 mm 程度が適当である。また、モネル、耐海水性ステンレス鋼についても同様の考えからその厚みは 2~4 mm が適当である。

### 3. 施工および維持、補修

#### 3.1 施 工

施工にあたっては、施工要領書を作成し、これに基づいて入念に施工しなければならない。

#### 〔解 説〕

(1) 防食被覆の性能は、施工環境や施工条件の影響を大きく受けるので、施工に先立ち、施工環境の整備、施工方法ならびに検査など、所定品質の確保に必要な内容を盛り込んだ施工要領書を作成し、これに基づいて入念に施工しなければならない。

施工時には、正確に記録をとり、以後の維持管理に役立てることが望ましい。また、作業者の

安全確保、作業環境の保持につとめ、災害の防止、周囲の第三者に対する迷惑の防止にも十分留意しなければならない。

(2) 構造物の組立、運搬、据付けなどに際しては、防食被覆を損傷しないよう十分に注意し、万一損傷を与えた場合は、防食被覆の種類及び損傷の程度に応じて適正な補修をおこなう。

### 3.2 維持、補修

**維持、補修は、採用した防食仕様に適正な方法により実施しなければならない。**

#### 〔解説〕

(1) 防食機能を維持するため適切な点検と補修が必要であり、基準を定めて計画的に実施しなければならない。

(2) 点検の結果、補修が必要と判断された場合は、採用した防食被覆の種類及び劣化損傷の程度に応じて適正な補修をおこなう。

(3) 点検の結果及び補修の時期や方法に関しては正確に記録しておくなければならない。

## あ と が き

本研究により現在までに得られたデータは、定性的なもので、定量的に把握するには、今後かなり長期にわたる観測が必要である。したがって、海洋鋼構造物の防食技術の確立を目指して過去4ヶ年間にわたり、国費と民間資金合計1億円を超える研究費を投入した本研究の真の成果が得られるのはこれからであり、なんらかの方法により研究が継続されることを期待するものである。

#### 謝 辞

本研究に関与された共同研究各機関の関係者諸氏、防食抗 committees の委員諸氏、幹事会の幹事諸氏に対し深甚なる謝意を表する。

#### 参考資料

1. 構造材料の防食技術の開発、文献並びに実態調査報告書  
昭和49年3月(財)国土開発技術研究センター
2. 構造材料の防食技術の開発に関する報告書  
昭和50年3月(財)国土開発技術研究センター
3. 構造材料の防食技術の開発に関する報告書  
昭和51年3月(財)国土開発技術研究センター
4. 構造材料の防食技術の開発に関する報告書  
昭和52年3月(財)国土開発技術研究センター