

海洋構造物の耐久性向上技術に関する 共同研究報告書

飛沫部及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 30 年の研究成果 —

平成28年3月

国立研究開発法人 土木研究所
一般社団法人 日本鉄鋼連盟

Copyright © (2016) by P.W.R.I.

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

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事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、国立研究開発法人土木研究所理事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

飛沫部及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 30 年の研究成果－

Cooperative Investigation on Protective Technologies for Steel Structures in Marine Splash and Tidal Environment.

国立研究開発法人 土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ

上席研究員 西崎 到

主任研究員 佐々木 巖

研究員 櫻庭 浩樹

一般社団法人日本鉄鋼連盟

海洋防食・耐久性研究会

要旨

(国研)土木研究所と(一社)日本鉄鋼連盟は、海洋鋼構造物の耐久性向上技術を確立することを目的に、昭和 57 年度から「飛沫部および干満部における鋼構造物の防食技術」に関する共同研究として、駿河湾の海洋総合技術研究施設において、各種防食技術の暴露試験を行っている。

本報告は、暴露期間 30 年までの研究成果をとりまとめたものである。

キーワード：鋼構造物，海洋環境，防食材料，防食技術

まえがき

1960年代後半、全国的な高速道路網の整備計画や、東京湾岸道路、本州四国連絡橋などの巨大プロジェクトが計画された。これらのプロジェクトは、海上や海浜地域など厳しい腐食環境にあり、構造物の防食技術の確立が求められていた。土木研究所では、長大橋の塗装技術の向上を目的として、若戸大橋用の塗料の調査研究をはじめとして本州四国連絡橋用材料開発のため大気暴露試験を行っていた。さらに、東京湾横断道路の建設に関わる研究として、海上環境である飛沫部・干満部・海中部・海底土中部における鋼構造物の腐食性状の把握と防食方法に関する研究を東京湾内で実施した。

昭和48年(1973年)から建設省総合技術開発プロジェクト「海洋構造物の耐久性向上技術の開発」がはじまり、「構造材料の防食技術の開発」を開始した。この研究では、実海域での実大鋼構造物を用いて、飛沫部と干満部を対象として民間で開発された防食技術を活用した長期間の暴露試験で、その防食性能を評価するものであった。この研究は、鋼管杭協会および財団法人国土開発技術研究センターと共同研究で実施した。共同研究の実施にあたっては、防食ぐい開発委員会を設置して、昭和49年(1974)から暴露期間11.5年にわたり東京湾内の千葉沖で、昭和50年(1975)から暴露期間22年にわたり外洋環境の阿字ヶ浦で鋼管杭の暴露試験を行った。これらの調査結果は、土木研究所資料第3687号「外洋に20年間暴露した防食鋼管杭の耐食性試験報告書」(平成12年1月)に取りまとめている。

コンクリート構造物の設計施工に際しては、強度を主とした力学的性質はもちろんのこと、耐久性も重要な検討事項であった。しかし、耐久性に関する配慮が十分でなかったために、昭和50年代後半に日本海沿岸や沖縄をはじめ、各地で鋼材腐食によるコンクリートの損傷、いわゆる塩害が顕在化したことが報告された。各研究機関において塩害のメカニズムやその対策に関する研究・開発が開始されたが、成果を出すには長期間の時間を待たねばならなかった。コンクリートの塩害対策として、昭和59年(1984)に「道路橋の塩害対策指針(案)」が日本道路協会から発行された。そこには鋼材かぶりを厚くすること、密実なコンクリートを打設すること等を基本対策とし、改善策としてコンクリート塗装やエポキシ樹脂鉄筋等の使用を進めている。しかし、これらは経過的処置であり、道路橋示方書に移行し見直しもなされているが、今後のさらなる研究により完全なものとするべきものである。

これらの背景のなか、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」が、昭和56年度(1981)のフィジビリティスタディを経て昭和57年度(1982)より開始された。建設省土木研究所化学研究室(現：国立研究開発法人土木研究所材料資源研究グループ)は「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術」を担当することとなり、海洋暴露試験施設として太平洋に面した駿河海岸に海洋技術総合研究施設を設置した。

海洋技術総合研究施設を利用した暴露試験も、土木研究所と民間団体との共同研究として実施した。飛沫部・干満部および海中部の鋼構造物の防食技術については、社団法人鋼材倶楽部(現：一般社団法人日本鉄鋼連盟)と、飛沫部および干満部のコンクリート構造物の防食技術については、一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会と、海上大気部の長期防錆型塗装技術および海中部の電気防食設計技術については、一般財団法人土木研究センターと共同研究で実施してきている。

共同研究の分担課題として(国研)土木研究所と(一社)日本鉄鋼連盟は「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」を担当し、

- 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
- 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
- ③ 新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確認

の項目に関して研究・開発を継続してきた。

本報告書は、世界的にも類を見ない長期間の実環境における暴露試験である、海洋技術総合研究施設での30年間の研究成果をまとめたものである。

目 次

1. 研究概要	1
1.1 研究目的	1
1.2 官民共同研究開始の経緯と進め方	2
1.3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯	8
1.4 試験場所および試験施設	9
1.5 暴露試験環境	11
1.6 試験目的	14
2. 試験内容および試験材	16
2.1 試験内容	16
2.2 試験項目	16
2.3 試験材の分類	16
2.4 試験方法	26
2.5 継続暴露試験材	30
2.6 新規暴露試験材	55
3. 2013年度詳細調査	120
3.1 環境調査	123
3.2 継続暴露試験材の調査結果	126
3.3 新規暴露試験材の調査結果	233

1. 研究概要

1.1 研究目的

沿岸環境、特に港湾・河川の鋼構造物、例えば羽田再拡張や浮体構造など 100 年耐久性が求められる分野や、既存施設のリニューアルニーズの高まりに対し、耐久性の高い構造・仕様および LCC（ライフサイクルコスト）を考慮した提案が求められている。これに対応するにあたり、実環境での長期暴露試験データは、その提案仕様の有効性を証明するうえで非常に有力な手段の一つである。

（社）鋼材倶楽部（2001 年に日本鉄鋼連盟に統合）は、（独法）土木研究所と共同して、新たな海洋暴露試験を計画した。これは、（社）鋼材倶楽部と建設省土木研究所により 1982 年に開始された「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」（以下、旧暴露試験と呼ぶ）の成果を踏まえて、より耐久性の高い防食仕様・補修仕様の実環境での評価を行うものである。

旧暴露試験からの継続暴露試験体と新規暴露試験体の試験目的を以下に列挙する。

- ① 1984 年から 20 年間の海洋暴露試験（旧暴露試験）の成果・知見を総合した複合防食の性能評価（耐食金属＋樹脂・塗装＋電気防食の併用など）。
- ② 旧暴露試験からの継続暴露による長期（30 年）の耐久性評価。
- ③ 高耐食性金属被覆防食の性能評価。
- ④ 補修技術の信頼性評価。
- ⑤ 環境対応技術の評価。

旧暴露試験からの継続暴露試験では、1983 年から 2003 年の間に実施した旧暴露試験において、最大 20 年間の暴露を経ても十分な防食性能を保持しているため暴露を継続したい試験体や、期間中に暴露を開始したため暴露期間が十分でないものなどを対象とする。一方、新規暴露試験体は、旧活動で得られた成果や知見をもとに更に長期耐久性を有する防食仕様として選定されたものである。

暴露試験対象が長期の防食性能を有すると期待されるものであることに対して暴露試験期間が 10 年と短いことから、試験開始時に健全な防食仕様を有する試験体は 10 年暴露終了後にも各防食仕様が劣化していないという結果が予想される。従来の長期暴露試験と同様の暴露方法と評価を行うのでは、防食性能が 10 年間保持されたというデータしか得られず、いわゆる防食仕様の限界や寿命を把握できない。

そこで、新規の暴露試験にあたっては、

- a) 人工的に欠陥部を作りその箇所の劣化進行度を評価する、
- b) 同一仕様の試験片を加速試験により評価する、

ことにより、防食仕様の劣化曲線の推定と事前に想定した防食仕様メカニズムの妥当性評価を試みた。

また、補修技術の信頼性を評価する観点から、

- c) 1 年程度実環境で裸暴露したものへ補修を施し、その性能を評価することも試みた。

1.2 官民共同研究開始の経緯と進め方

1.2.1 共同研究開始の経緯

科学技術庁では、「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」を科学技術振興調整費によって昭和 57 年度から 5 カ年計画としてスタートさせた。これに含まれる研究項目は、以下の通りである。

- ①海洋構造物の設計・施工等に必要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性向上技術の開発
- ⑤大波浪海域における海洋構造物の実海域実施研究

上記のうち、建設省土木研究所（現：国立研究開発法人土木研究所）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り、民間の技術力の参加を得て、官民による共同研究として進めることになった。そしてこの研究の暴露試験は、「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、以下のとおりである。

（官側） 建設省土木研究所（現：国立研究開発法人土木研究所）

（民側） 社団法人鋼材倶楽部（現：一般社団法人日本鉄鋼連盟）

社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会

（現：一般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（現：一般財団法人土木研究センター）

この研究は「耐久性の向上」を目指しているが、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。実海域での数年間の短期的暴露試験では、本来の目的が達成されないことが明らかであるので、科学技術庁が設定した 5 カ年の期間（昭和 57～61 年）が終了した後、すなわち昭和 62 年以降も暴露試験を継続することとしてスタートし、すでに暴露 30 年以上が経過している。

1.2.2 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おこなうことを目的とする。

1.2.3 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、土木研究所と民間 3 団体とで、締結する。

共同研究を円滑かつ効果的に運営してゆくため、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）

- ・ 研究計画の審議
- ・ 研究成果報告の審議

②共同研究連絡調整会議

- ・ 研究運営の調整会議

③共同研究分科会（第1，第2，第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）

- ・ 研究計画の原案作成
- ・ 研究の実施
- ・ 研究報告書の原案作成

④共同研究事務局

- ・ 土木研究センター内に設置（平成22年度まで）
- ・ 土木研究所が事務局を担う（平成23年度から）
- ・ 委員会や連絡調整会議の開催
- ・ 委員会資料等の作成
- ・ 共同研究報告書のとりまとめ作成

1.2.4 共同研究の名称と分担

共同研究の名称：「海洋構造物の耐久性向上技術に関する研究」

共同研究の研究項目別分担表を表-1.2.1に示す。

表-1.2.1 共同研究課題と分担

研究項目	研究細目	研究分担		
		第1分科会	第2分科会	第3分科会
1. 飛沫部及び干満帯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） 2)防食被覆材料の耐久性試験（防食供試体）	A B 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 2)耐海水コンクリート部材の設計技術の開発		A 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技術 2)塗装併用電気防食設計技術の開発実験			A 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 2)長期防錆型塗装系の耐久性試験			A D
5. 研究成果のまとめ		A B C D		

注) A：土木研究所 B：日本鉄鋼連盟 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

1.2.5 共同研究分科会の研究項目

第1分科会の研究項目

- (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
高耐食性金属材料(ステンレス, キュプロニッケル, モネル, チタンなど)を適用することで、施設の期待寿命内でのメンテナンスのミニマム化、および維持管理に要する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た。
- (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
裸使用時や塗装使用時において、低合金系耐海水鋼材が防食性、耐久性、および維持管理に要するトータルコストの観点で有利であるかどうかを探究することを目的とした。
注：低合金系耐海水鋼材は、試験経過とともに普通鋼に対する優位性が認められなくなり、本報告では単に低合金鋼と呼ぶこととし「耐海水鋼」の名称を削除した。
また、テーマ(2)の目的を「無防食鋼材の腐食速度や塗装防食被覆材の劣化機構を検討する」ことに設定し直した。
- (3) 新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確実性
1980年代に開発された、防食塗装と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た。

第2分科会の研究項目

海洋環境におけるコンクリート構造物の塩害対策は、(社)日本道路協会「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」や建設省の総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」等により、技術的な対応は一応確立されている。

しかし、塩害対策の長期的な耐久性の確認、新材料を利用した防食技術、コンクリートの品質向上等、今後さらに研究していかなければならない課題も数多く残されている。

そこで、海洋環境下でも特に腐食条件が激しいと言われている飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術の確立を目的に研究を実施した。

- (1) コンクリートの防食技術の基本に関する研究
 - ①コンクリートのかぶりと配合：セメントの種類とかぶり及び水セメント比による防食効果を把握する。
 - ②コンクリートの内部組織と防食性能の把握：コンクリートのポロシチーと水密養生による防食効果を把握する。
 - ③腐食調査補修技術の開発：腐食進行を経時的に把握し、補修材料の開発を促進する。
- (2) コンクリート中の鋼材の防食技術に関する研究
 - ①樹脂塗装鉄筋の実用化：樹脂の品質と施工性を確認する。
 - ②PC鋼材の防塩処理材料の開発：ポリエチレンシースを開発し、防食性能を確認する。
- (3) 耐海水コンクリート部材の設計技術に関する研究
 - ①塗膜系被覆材の実用化：塗膜系被覆材の開発を促進する。
 - ②含浸系材料の実用化：合浸系材料の開発を促進する。
 - ③耐塩性コンクリートの開発：コンクリート用混和材料を開発する。

第3分科会塗装ワーキングの研究項目

海上で少なくとも20年の耐久性を有することを目標とし、実海域での試験を体系的に行なうことで、高性能で信頼性の高い長期防錆塗装技術の開発を行なうことを目的として、下記課題の研究を行なった。

- (1) 腐食環境調査：暴露試験結果を解析するため、試験場所の腐食環境を把握する。
- (2) 新設塗装システムの研究：当時の長期防錆システム、および開発中の塗装システムの性能確認を行なう。
- (3) 施設本体の塗装システムの研究：施設本体を利用して、長期防錆塗装システムの耐久性の検証試験を行なう。
- (4) 施設本体の簡易塗替え塗装システムの研究：施設本体を利用した4種ケレン程度の素地調整による塗替え塗装・耐久性の検証試験を行なう。
- (5) 簡易塗替え塗装システムの研究：塗装鋼板を用いて4種ケレン程度の素地調整による塗替え塗装・耐久性の検証試験を行なう。

第3分科会電気防食ワーキングの研究項目

鋼管杭を用いた形状の複雑な構造物を対象に、海象条件の変化に対応する電気防食設計技術に関する研究を実施した。

なお、本章で記述した各分科会の研究項目は、共同研究開始時のものである。研究途中で内容の見直しや、新しいテーマを追加しているが、それについては各分科会の報告書で説明している。

1.2.6 防錆防食技術開発委員会名簿

委員長	魚本 健人	(国研)土木研究所理事長
顧問	蒔田 實	(一財)土木研究センター参与
	守屋 進	元(独)土木研究所材料資源研究グループ
委員	西崎 到	(国研)土木研究所材料資源研究グループ上席研究員
	佐々木 巖	(国研)土木研究所材料資源研究グループ主任研究員
	富山 禎仁	(国研)土木研究所材料資源研究グループ主任研究員
	後藤 真一	(一社)日本鉄鋼連盟経営政策本部市場開発グループ
	今福 健一郎	(一社)日本鉄鋼連盟 (新日鐵住金株)
	松井 良典	(一社)日本鉄鋼連盟 (J F E スチール株)
	上野 進一郎	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会専務理事
	山口 光俊	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会技術次長
	青山 敏幸	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (株ピーエス三菱)
	片脇 清	(一財)土木研究センター化学技師長
	大澤 隆英	(一財)土木研究センター (日本ペイント株)

1.2.7 共同研究連絡調整会議名簿

佐々木 巖	(国研)土木研究所材料資源研究グループ主任研究員
富山 禎仁	(国研)土木研究所材料資源研究グループ主任研究員
櫻庭 浩樹	(国研)土木研究所材料資源研究グループ研究員
今福 健一郎	(一社)日本鉄鋼連盟 (新日鐵住金株)
松井 良典	(一社)日本鉄鋼連盟 (J F E スチール株)
後藤 真一	(一社)日本鉄鋼連盟経営政策本部市場開発グループ
三加 崇	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (三井住友建設株)
正木 守	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 (株富士ピーエス)
山口 光俊	(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会技術次長
岩瀬 嘉之	(一財)土木研究センター (大日本塗料株)
後藤 宏明	(一財)土木研究センター (関西ペイント株)
安波 博道	(一財)土木研究センター材料・構造研究部長

1.2.8 共同研究第1分科会の担当者

西崎 到	国立研究開発法人 土木研究所	
佐々木 巖	国立研究開発法人 土木研究所	
富山 禎仁	国立研究開発法人 土木研究所	
櫻庭 浩樹	国立研究開発法人 土木研究所	
今福 健一郎	新日鐵住金株式会社	
久保田 一男	新日鐵住金株式会社	
金子 道郎	新日鐵住金株式会社	
吉崎 信樹	新日鐵住金株式会社	
村瀬 正次	J F E スチール株式会社	
岸 慶一郎	J F E スチール株式会社	
松井 良典	J F E スチール株式会社	
山村 美彦	株式会社日本製鋼所	
矢部 室恒	日本冶金工業株式会社	
田所 裕	新日鐵住金ステンレス株式会社	
岩瀬 嘉之	大日本塗料株式会社	
志鶴 真介	株式会社ナカボーテック	
星野 雅彦	株式会社ナカボーテック	
中西 英幸	日本ペイント防食コーティングス株式会社	
守屋 進	独立行政法人 土木研究所	(H24年3月31日まで)
永尾 直也	新日鐵住金株式会社	(H27年10月31日まで)
上村 隆之	新日鐵住金株式会社	(H26年3月31日まで)
幸 英昭	新日鐵住金株式会社	(H26年12月26日まで)
後藤 信弘	新日鐵住金株式会社	(H24年12月31日まで)
喜田 浩	新日鐵住金株式会社	(H25年3月31日まで)
横幕 清	J F E スチール株式会社	(H23年12月31日まで)
昇 健次	株式会社クボタ	(H26年3月31日まで)
柴田 厚志	株式会社クボタ	(H25年3月31日まで)
小林 裕	日本冶金工業株式会社	(H27年10月8日まで)
為 信一郎	大日本塗料株式会社	(H24年9月30日まで)
石井 辰弥	株式会社ナカボーテック	(H25年3月31日まで)

※：所属は担当時のもの

1.3 海洋技術総合研究施設設置までの経緯

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、昭和56年度(1981)にフィジビリティスタディが行われ、昭和57年度(1982)より研究が開始された。その中で「防食等による海洋構造物の耐久性向上技術」に関しては、建設省土木研究所化学研究室(現：国立研究開発法人土木研究所材料資源研究グループ)が中心となって研究を実施することとなり、海洋暴露試験施設の設置が計画された。

一方、建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所(現：国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所)では、静岡県の駿河海岸および富士海岸において海岸浸食や高波による災害を防止するために海岸保全事業を行ってきているが、駿河海岸では海岸浸食がはげしいために浸食の機構と防止工法について詳細な調査を行う必要があると考えられ、そのための観測施設を必要としていた。

このような状況のもとで、研究施設は単に防食材料の暴露試験を行うだけでなく、総合的な海域の自然条件を調査し、沿岸の防災にも役立つ施設として計画された。施設の設置場所となる候補地の協力を得て、また土木研究所においても化学研究室、海岸研究室(現：国土交通省国土技術政策総合研究所海岸研究室)、コンクリート研究室(現：国立研究開発法人土木研究所材料資源研究グループ)が、この計画に参画した。

すなわち、海洋空間の利用をはかるための防食材料の暴露試験を行う場合、また海岸浸食を防止する場合でも、海上の風、波浪、潮流、水質、地形、地質などの自然条件をまず把握する必要がある。次に、海岸防災に関する研究、すなわち海岸への土砂供給現象、海浜変形等に対する対策用、および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がある。さらに、構造物の安定性に関して、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った。

本施設は、これら自然条件の観測を行い、その実態を把握するための海上観測施設としての機能も有している。このことから本施設は、海洋技術に関する総合的な研究・観測に利用される海洋技術総合研究施設となった。

計画時に検討された主要な研究項目は、以下のとおりである。

- 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

以上の研究を推進するための適地の選定にあたり、大井川町(現：焼津市)、大井川町漁業協同組合(現：大井川港漁業協同組合)等の協力を得て、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。

1.4 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、駿河湾内の駿河海岸(静岡県焼津市高新田地先)沖合 250m である。海洋技術総合研究施設の概要を図-1.4.1、写真-1.4.1 に、設置位置を図-1.4.2 に示す。

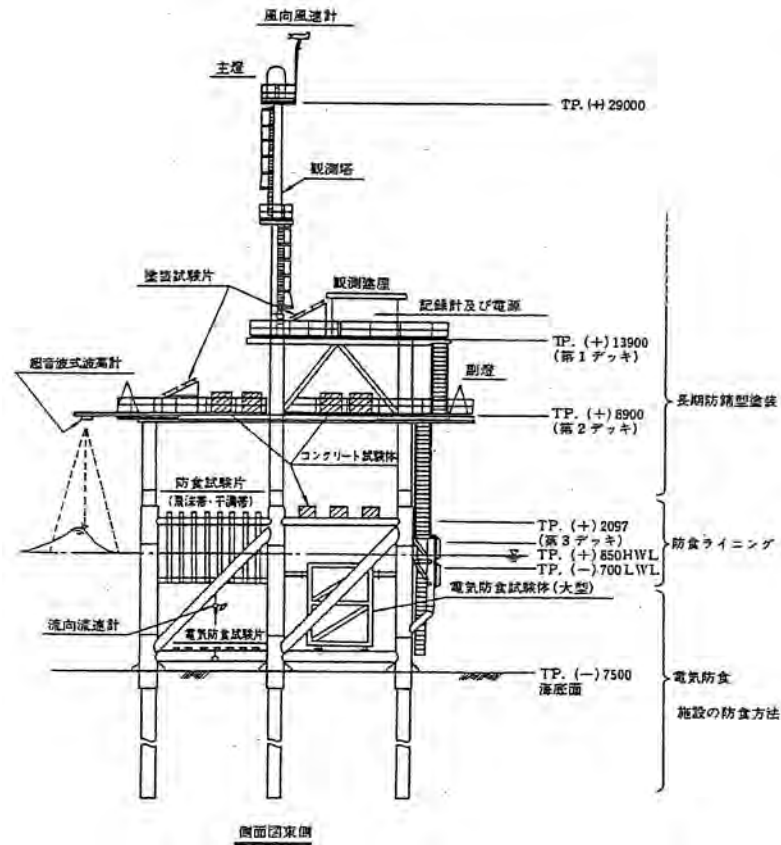


図-1.4.1 海洋技術総合研究施設の概要



写真-1.4.1 海洋技術総合研究施設

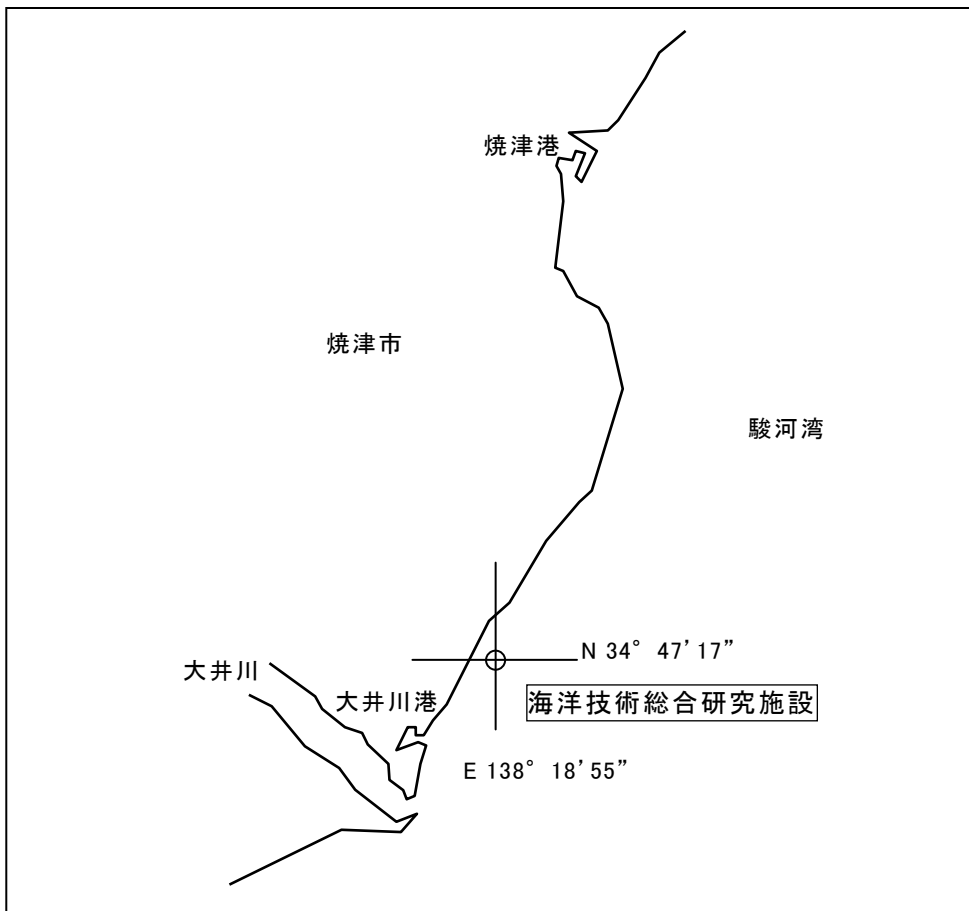
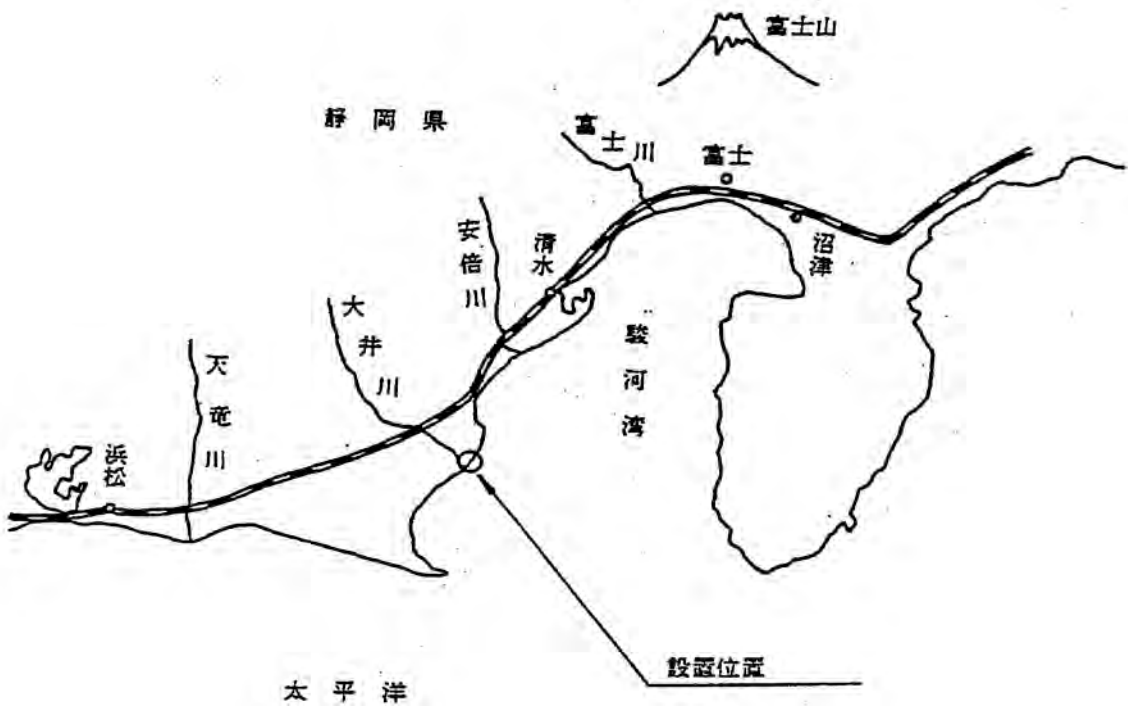


図-1.4.2 海洋技術総合研究施設の位置図

1.5 暴露試験環境

1.5.1 気象環境

駿河海岸近傍の気象データとして、ここでは気象庁御前崎測候所の観測記録を、**図-1.5.1**に示す。気温、湿度、日射量の季節変動や梅雨期の影響がわかる。

国内の海岸暴露場等との比較として、暴露施設付近に位置する気象庁観測拠点での記録を、**図-1.5.2~1.5.8**に海洋技術総合研究施設の設置から現在までについて示す。

平均気温は、年ごとの変化は少なく、沖縄が高く北海道は低く、本州については大きな相違はない。最高気温は、北海道ではやや低く、大都市域である東京で高くなることがある。最低気温は平均気温に似た高低差を示し、とくに冬季の気温が平均気温に影響を与えるものとみられる。



図-1.5.1 月間変動 (2009 御前崎)

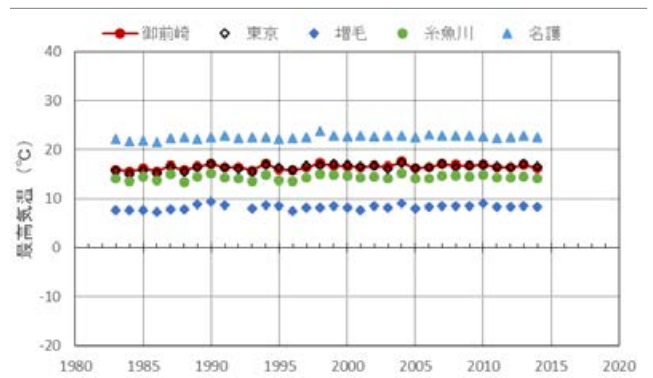


図-1.5.2 平均気温 (1983~2014)

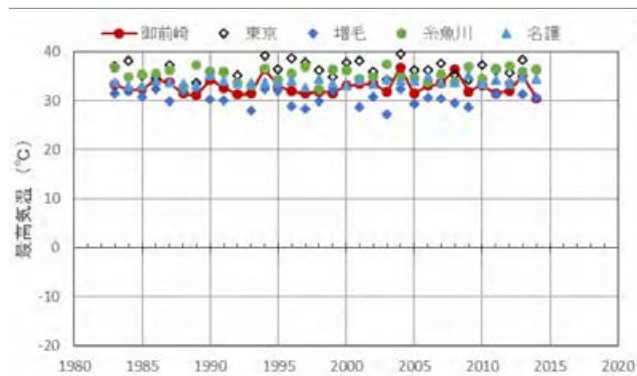


図-1.5.3 最高気温

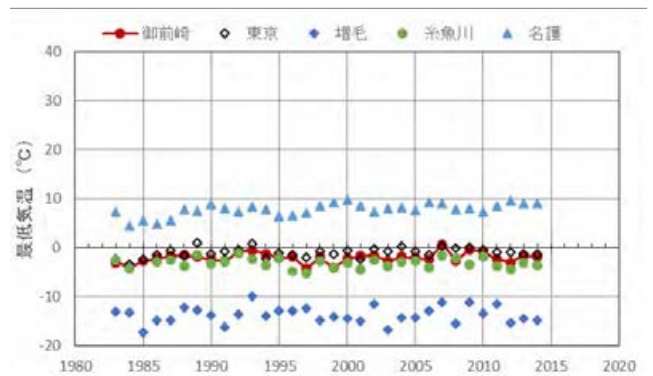


図-1.5.4 最低気温

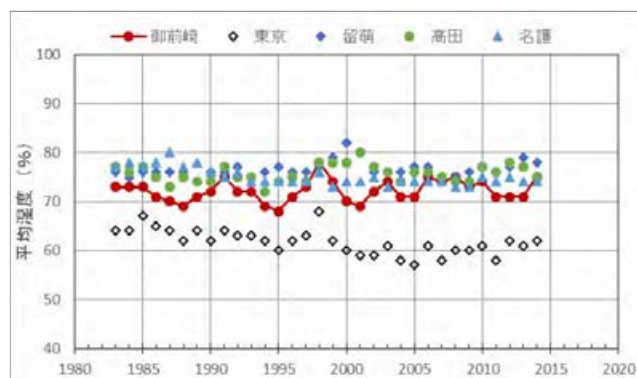


図-1.5.5 年平均湿度

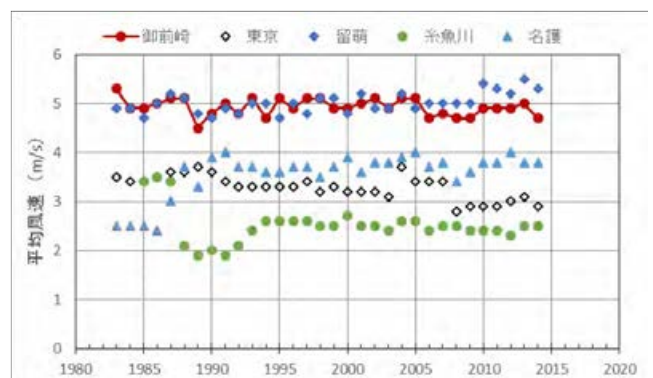


図-1.5.6 年平均風速



図-1.5.7 日照時間



図-1.5.8 全天日射量

湿度は、海岸部での観測地が東京に比べて高い。平均風速は、気象観測地点の地理条件にもよるが、年平均でみると御前崎と沖縄の観測地が大きい。

日照時間は、図示した地点では御前崎が最も長く、晴天率の高い地域であることがわかる。このため、全天日射量は緯度が低く照度の大きな沖縄と並ぶ値を推移している。

1.5.2 腐食環境

海洋技術総合研究施設は、建設材料の耐久性試験を大きな目的に設置されたこともあり、外洋に面した飛来塩分の多い環境が選定されている。

ISO/TC156/WG4 では、規格の裏付けとなるデータベースを作成する目的で、1986年から13カ国49地域で5年間にわたり国際共同暴露試験を行った。わが国では、TC156 国内対策委員会のJWG4 委員を中心に調査研究委員会を設け、銚子、東京、駿河、沖縄の4カ所で暴露試験を行った。駿河海岸の当該施設の調査では、気温、湿度、濡れ時間（気温と湿度から推定）、亜硫酸ガスの測定、海塩粒子の測定設備（ISO ウエットキャンドル法、JIS ガーゼ法、土研式タンク法など）を用いて測定を行った^{1.5.1)}。これらの環境調査ならびに鋼材の腐食量等の結果により、腐食因子と海面からの距離や気象との関係が明らかとなっている。腐食に対する影響の大きい飛来塩分は、風向と風力との関係があり、海面で飛沫が発生し飛来する。

これらの調査から、ISO 腐食環境分類基準（ISO12944-2）における環境腐食性の分類でカテゴリC4 (High)に認定されている。したがって、世界的にみた腐食環境の位置づけができている標準暴露地として活用できるようになっている。

土研式飛来塩分捕集器(タンク法)による調査結果から、1986～1989年度の調査結果^{1.5.2)}を図-1.5.9に、2013～2015年度の調査結果を図-1.5.10に示す。一部の異常値を除き、0.1～数mddの範囲内にあり、土木研究所が過去に実施した飛来塩分の全国調査^{1.5.3)}での東海地方の調査結果の範囲とも整合した値を示している。

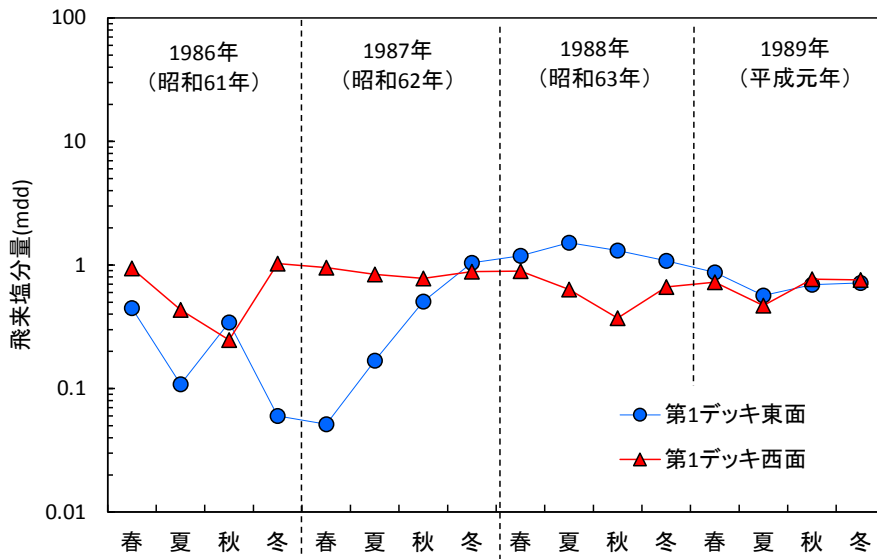


図-1.5.9 過去の調査結果の経時変動（第1デッキの東西面）

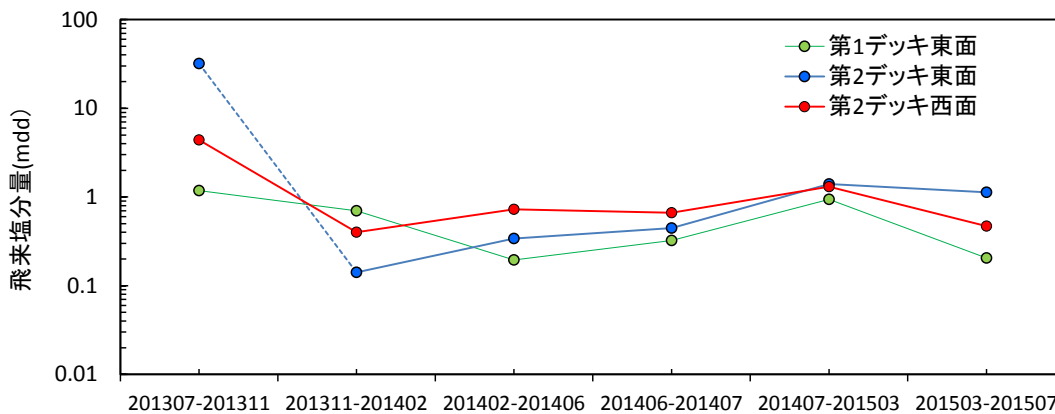


図-1.5.10 土研法（タンク法）による飛来塩分量の経時変動

海洋環境では海面からの鉛直高さにより腐食環境が大きく異なり、海洋技術総合研究施設における過去の調査でも暴露デッキによる劣化進行の相違がみられている。海洋技術総合研究施設は鉛直方向に複数の暴露デッキを有しており、飛来塩分環境の比較調査が可能である。図-1.5.11は、モルタル薄片法^{1.5.4)}による浸透塩分量に対する海面からの高さの影響を示す。海面からの高さが約2mである第3デッキの浸透塩分量が最も大きく、海面からの高さに応じて低下し、ほぼ同程度の塩分量に収束する傾向を示した。

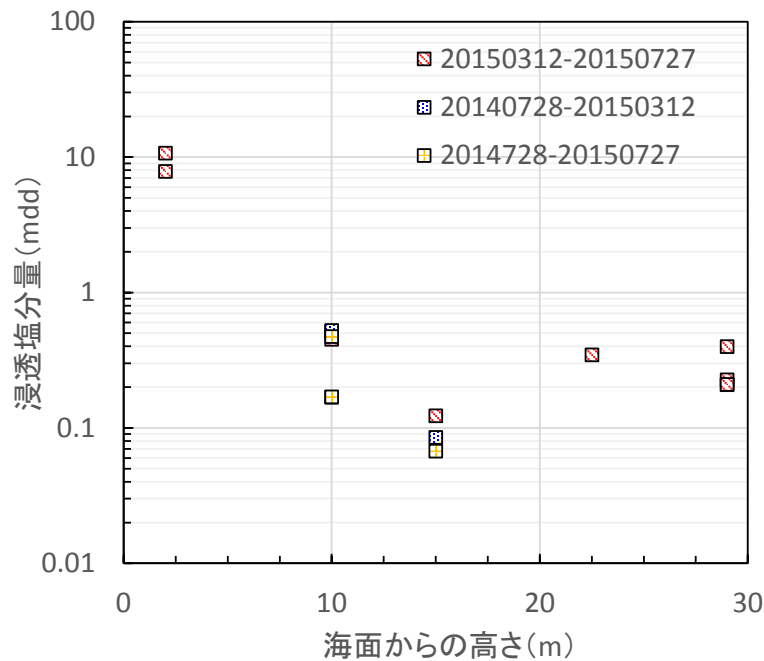


図-1.5.11 モルタル薄片法による浸透塩分量に対する海面からの高さの影響

1.5.3 海岸環境

施設の概要は図-1.4.1に示したとおりであり、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は若干変動している。

駿河海岸には、海洋技術総合施設設置時には近傍に離岸堤はなかったが、現在では一帯に各種の離岸堤が整備され、それとともに同施設にあった静岡河川事務所の波高観測機器は沖合の海底設置型のものに変更されている。離岸堤の整備により、海底地形や碎波の状況はいくらか変化している可能性もある。

1.6 試験目的

旧暴露試験（1983～2003年）からの継続暴露試験材は、最大20年間の暴露を経ても十分な防食性能を保持しているため、暴露をさらに継続した試験材や、期間中に暴露を開始したため暴露期間が十分でない試験材を対象とし、新規暴露試験材は、旧活動で得られた成果や知見をもとにさらに長期耐久性を有する防食仕様として選定されている。

暴露試験期間と防食性能については、試験材の選定内容から本研究の暴露試験期間が10年間と短いため、次に示す2つの評価により防食仕様の劣化曲線の推定と事前に想定した防食仕様メカニズムの妥当性評価を試みる。

- a) 人工的に欠陥部を作り、その箇所の劣化進行度を評価する。
 - b) 一部の暴露試験材については、同一仕様の試験片を加速試験により評価する。
- また、補修技術の信頼性を評価する観点から、
- c) 1年程度実環境で裸暴露したものへの補修を実施し、その性能の評価を試みる。

2013年度は、当初計画の最終年度(30年経過)にあたり、2005年度の定期一般調査、2008、2011年度の定期一般・定期詳細調査に引き続き、試験材を現地調査の上各社回収し詳細調査を実施した。尚、計画では2013年度は当該暴露試験の最終年度に相当しているが、更なる継続暴露試験を実施する方向で検討している。

参考文献：

- 1.5.1) 土木研究所ほか：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－海洋暴露20年の総括報告書－，第345号，pp.55-58，2006.
- 1.5.2) 土木研究所：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書（海上大気中の長期防錆塗装技術に関する研究 第3分科会塗装部会）－暴露期間10年後の研究結果，第143号 pp.17-23，1995.
- 1.5.3) 土木研究所：建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書（第一編）」，pp.76-78，1988.
- 1.5.4) 佐伯竜彦、能勢陽祐、菊地道生：薄板モルタル供試体を用いたマイクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，pp.803-808，2011.

2. 試験内容および試験材

2.1 試験内容

本研究は金属材料および塗覆装材料を海洋環境、とくに飛沫帯～干満帯を主として大気部から海中部にわたる腐食環境に暴露し、その防食仕様の耐久性と補修仕様の信頼性を確認するものである。

本研究の対象試験材は、旧暴露試験からの継続暴露試験材 11 本、新規暴露試験材 20 本の合計 31 本である。この他に、光沢度および色差測定用の小試験片(板状:図-2.4.1.2 記載の F-2-1)が 1 個ある。

各試験材の試験には、予め測定項目を定めた定期一般調査と定期詳細調査とを組み合わせた長期調査計画が策定されている(表-2.1.1、表-2.1.2)。本計画に基づき、2004 年では新規暴露材 N-1、N-2、N-3、N-5、N-19 に関して暴露開始後 1 年目の現地における補修を実施(裸暴露 1 年後の試験材への補修)し、N-20 を新たに設置している。また、2005 年には定期一般調査、2008 年には定期詳細調査を行い、2011 年度の調査では、再度定期一般調査を実施している。本 2013 年度の調査では、試験材の調査最終年度にあたり詳細調査を実施した。

2.2 試験項目

本研究では、新規暴露試験材に関して暴露開始前に試験材の初期値の測定を表-2.2.1 に基づいて実施し、暴露期間中の測定項目として計画されている継続暴露試験材、新規暴露試験材について、2005 年度には表-2.2.2、表-2.2.3 に基づく一般調査、2008 年度には詳細調査を実施し、2011 年度には一般調査を実施している。

本年度(2013年度)の測定項目は、これらの表に記載されている詳細調査の項目である。

また、各調査年度には暴露環境の調査として海水の分析を継続的に行い、本年度(2013 年度:暴露試験終了時)でも調査を行なった。

さらに、本年度(2013 年度:暴露試験終了時)に回収する試験材の回収後の試験に関しては、継続暴露試験材について表-2.2.4 に、新規暴露試験材について表-2.2.5 に示す項目について行う。

2.3 試験材の分類

試験材を旧暴露試験の分類に基づき継続暴露試験材および新規暴露試験材について整理したものを表-2.3.1 および表-2.3.2 に示す。

継続暴露試験材では、高耐食性金属系である研究テーマ 1 の第 1 次材が 4 本、第 2 次材が 2 本および防食塗装・防食被覆系である研究テーマ 3 の第 2 次材が 5 本からなる構成で、計 11 本である。

新規暴露試験材では、研究テーマ 1 の第 3 次材が 13 本、研究テーマ 3 の第 3 次材が 7 本からなる構成で、計 20 本である。

表-2.1.1 継続暴露試験材調査予定

試験体番号	防食仕様	試験体形状	製作担当会社	撤去・調査計画(暴露年)										
				1	②	3	4	⑤	6	7	⑧	9	⑩	
A-10-1	9-1キユプロニツケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	2004	○	2006	2007	2008	2009	2010	○	2011	2012	2013
A-13-B	B.純チタン(素管) + 純チタン(片)	管	日本チタン協会		○									■
A-13-C	C.純チタン(素管) + チタン合金(片)	管			○									■
A-14	9-1キユプロニツケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2		○			◎				○		■
C-1	Ti + 塗装 + 電防	角管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※3		○			◎				○		■
H-1	飛沫層:チタン, 0.4mm 干満帯:SU/S304鋼, 0.5mm 薄中部, タールエポキシ300μm アルミ陽極	管			○			◎				○		■
F-2	OZP (20 μm) + エポキシ (1250 μm × 2)	管	大日本塗料		○			◎				○		■
F-4	プライマー (30 μm) + ポリウレタン (2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料化学) ※3		○			◎				○		■
G-2	OZP (20 μm) + GF入りビニルエステル (850 μm × 2) (OZP塗り残し有り) 変性エポキシ (50 μm) + GF入り着色ビニルエステル (350 μm × 2)	管	大日本塗料		○			◎				○		■
C-5	着色ポリウレタン (緑2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料化学) ※3		○			◎				○		■
C-6	黒色ポリウレタン (2500 μm)	管			○			◎				○		■

1) 上部(鋼)塗装:無機ジンクリッチ (75 μm) + エポキシ (ミストコート)

上部(鋼+チタンクランプ) 塗装:エポキシ (60 μm × 2) + ふっ素 (30 + 25 μm)

下部(鋼+チタンクランプ) 塗装:タールエポキシ (150 μm × 2)

下部(鋼) 塗装:無機ジンクリッチ (75 μm) + エポキシ (ミストコート)

2) ※1 は、別途小試験片 (板状) を光沢・色差測定用に暴露

3) G-2は、上段が初期塗装で下段が補修塗装。補修は現地施工

4) ※2 は、神戸製鋼所が作製し日本製鋼所が引き継いだ試験材

5) ※3 の () 内は旧社名

表-2.1.2 新規暴露試験材調査予定

試験体番号	防食・防食仕様	試験体形状	治具の形状	製作担当会社	撤去・調査計画(上段:暴露経過年数 下段:年度)													
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
N-1	保護カバース	管	アングル	ナカボートテック	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013				
N-2					再	○					◎							
N-3	PE被覆	管	パイプφ165.2	JFEスチール	再	○												
N-4					再	○												
N-5					再	○												
N-6					再	○												
N-7					再	○												
N-8					再	○												
N-9	ステンレス系	管	パイプφ165.2	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	○													
N-10					○													
N-11					○													
N-12					○													
N-13					○													
N-14					○													
N-15					○													
N-16					○													
N-17					○													
N-18					○													
N-19	再	○																
N-20	塗装系	管(角)	アングル	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	設置	○(■)												

※ ()内は旧社名

表-2-2.2.1 新規暴露試験材の初期値に関する測定項目

試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	測定項目
N-1	保護カバース系	FRP保護カバース+特殊防食樹脂a	管	ナカボテック	母材板厚、初期材の状況
N-2		FRP保護カバース+特殊防食樹脂b	管	ナカボテック	母材板厚、初期材の状況
N-3	PE被覆系	PE被覆鋼材(改良系1)	管	JFEスチール	母材板厚、PEの物性値、被覆層膜厚、被覆層/母材密着強度
N-4		PE被覆鋼材(改良系1+電気防食)	管	JFEスチール	母材板厚、PEの物性値、被覆層膜厚、被覆層/母材密着強度、アノード重量、サイズ
N-5		PE被覆鋼材(改良系2)	管	JFEスチール	母材板厚、PEの物性値、被覆層膜厚、被覆層/母材密着強度
N-6		PE被覆鋼材(改良系2+電気防食)	管	JFEスチール	母材板厚、PEの物性値、被覆層膜厚、被覆層/母材密着強度、アノード重量、サイズ
N-7		高耐食性SUS+電気防食(海中部電防、飛沫・干満帯SUS被覆) (20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、衝撃試験、塗膜部膜厚、アノード重量、サイズ
N-8		高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、溶接部の状況、塗膜部観察
N-9	高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.上に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、溶接部の状況、塗膜部観察 傷部および補修部観察	
N-10	高耐食性SUSb被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.下に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、溶接部の状況、塗膜部観察 傷部および補修部観察	
N-11	高耐食性SUS+電気防食 (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKIN川崎)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、溶接部の状況(カラーチェック) 腐食すきま再不動態化電位、アノード重量、サイズ	
N-12	高耐食性SUS+電気防食 (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKIN川崎)※	母材板厚、SUS材板厚、成分分析値、溶接部の状況(カラーチェック) 腐食すきま再不動態化電位、アノード重量、サイズ	
N-13	高耐食性SUS (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)	管	JFEスチール	母材(SUS材)板厚分布、成分分析値	
N-14	Ti箔張付PU被覆 (海中部電防、飛沫・干満帯PU被覆+接着剤+0.4mmTi)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	母材板厚、有機樹脂膜厚、Ti材の板厚、塗膜部膜厚、衝撃試験 塗膜部交流インピーダンス測定・絶縁抵抗・硬度、アノード重量、サイズ	
N-15	Ti箔張付PU被覆	管	JFEスチール	母材板厚、有機樹脂膜厚、Ti材の板厚、Ti/有機接着強度、母材/有機接着強度	
N-16	Ti箔張付PU被覆+電気防食	管	JFEスチール	母材板厚、有機樹脂膜厚、Ti材の板厚、Ti/有機接着強度、母材/有機接着強度 アノード重量、サイズ	
N-17	Ti箔張付PU被覆	管	クボタ	母材板厚、有機樹脂膜厚、Ti材の板厚、塗膜部膜厚、衝撃試験 塗膜部交流インピーダンス測定・絶縁抵抗・硬度	
N-18	Tiクランプ+電気防食(-900mV固定)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	母材板厚、有機樹脂膜厚、Ti材の板厚、塗膜部硬度、アノード重量、サイズ、電位	
N-19	Ti被覆ベントロラタム補修仕様(TE塗装の一部を補修)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	母材板厚、樹脂厚、Ti材の板厚、初期材の状況 塗膜部交流インピーダンス測定・絶縁抵抗	
N-20	①有機シンク25μm+超薄膜エポキシ(100,200,300,400μm) ②有機シンク25μm+ターナルエポキシ300μm(傷部φ1.2,5,10mm)	管(角)	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	膜厚、傷部形状	

※ ()内は旧社名

表-2.2.2 継続暴露試験材に関する測定項目

試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	暴露開始 (年)	一般調査	詳細調査
A-10-1	キエプロニックケル圧延グラッド	9-1キエプロニックケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2		外観観察、生物付着状況	外観観察、生物付着状況、局部腐食観察
A-13-B	チタン板溶接	B.純チタン(素管)+純チタン(片)	管	日本チタン協会	1984.3~	外観観察	外観観察
A-13-C	チタン板溶接	C.純チタン(素管)+チタン合金(片)	管			外観観察	外観観察
A-14	キエプロニックケルグラッド	9-1キエプロニックケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	1991~	外観観察、生物付着状況	外観観察、生物付着状況、局部腐食観察
C-1	チタンクラッド	Ti+塗装 ¹⁾ +電防	角管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※3	1991~	外観観察、電位測定	外観観察、電位測定、陽極消耗量 補修部の劣化進展
H-1	チタンクラッド鋼・ステンレス鋼 ・普通鋼塗装+電防	飛沫帯 チタン、0.4mmt 干満帯 SUS304鋼、0.5mmt 海中部 タールエポキシ、300 μm アルミニウム合金陽極	管			外観観察、電位測定	外観観察、電位測定、陽極消耗量 補修部の劣化進展
F-2	超薄膜型エポキシ樹脂塗料	OZP(20 μm)+エポキシ(1250 μm×2) ※1	管	大日本塗料	1993~	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定 ピンホール、光沢色差(小試験片)	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定 ピンホール
F-4	ポリウレタン樹脂塗料	プライマー(30 μm)+ポリウレタン(2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料科学) ※3	1993~	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定
G-2	GF入り着色ビニルエステル	OZP(20 μm)+GF入りビニルエステル(350 μm×2) (OZP塗り残し有り) 変性エポキシ(50 μm)+GF入り着色ビニルエステル(350 μm×2)	管	大日本塗料	1993~	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定 ピンホール	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定 ピンホール
C-5	ポリウレタン樹脂塗料	着色ポリウレタン(緑2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料科学) ※3	1990~	外観観察、交流インピーダンス測定	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定
C-6	ポリウレタン樹脂塗料	黒色ポリウレタン(黒2500 μm)	管	※3	1990~	外観観察、交流インピーダンス測定	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定

- 1) 上部(銅)塗装:無機ジクロリッチ(75 μm)+エポキシ(ミストコート)
上部(銅+チタンクラッド)塗装:エポキシ(60 μm×2)+ふっ素(30+25 μm)
下部(鋼+チタンクラッド)塗装:タールエポキシ(150 μm×2)
下部(銅)塗装:無機ジクロリッチ(75 μm)+エポキシ(ミストコート)
- 2) ※1は、別途小試験片(板状)を光沢・色差測定用に暴露
- 3) G-2は、上段が初期塗装で下段が補修塗装。補修は現地施工
- 4) ※2は、神戸製鋼所が作製し日本製鋼所が引き継いだ試験材
- 5) ※3の()内は旧社名

表-2.2.3 新規暴露試験材に関する測定項目

試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	2004年度調査	一般調査	詳細調査 (一般調査への追加項目)
N-1	防食系 保護カバース系	FRP保護カバー+特殊防食樹脂a	管	ナカボーターテック	付着物観察、板厚測定 被覆状況	外観観察	FRPカバース材調査
N-2		FRP保護カバー+特殊防食樹脂b	管	ナカボーターテック	付着物観察、板厚測定 被覆状況	外観観察	FRPカバース材調査
N-3	PE被覆系	PE被覆銅材(改良系1)	管	JFEスチール	傷部2箇所補修	外観観察	被覆浮き、傷部評価
N-4		PE被覆銅材(改良系1+電気防食)	管	JFEスチール		外観観察、電防電位	被覆浮き、陽極消耗量
N-5		PE被覆銅材(改良系2)	管	JFEスチール	傷部2箇所補修	外観観察	被覆浮き、傷部評価
N-6		PE被覆銅材(改良系2+電気防食)	管	JFEスチール		外観観察、電防電位	被覆浮き、陽極消耗量
N-7		高耐食性SUS+電気防食(海中部電防、飛沫・干満帯SUS被覆) (20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※		外観観察、電防電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き、傷部・補修部評価
N-8		高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※		外観観察、ステージ電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き
N-9	高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.上に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※		外観観察、ステージ電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き、傷部・補修部評価	
N-10	ステンレス系 高耐食性SUSb被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.下に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※		外観観察、ステージ電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き、傷部・補修部評価	
N-11	高耐食性SUS+電気防食 (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKIN川崎) ※		外観観察、電防電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き	
N-12	高耐食性SUS+電気防食 (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKIN川崎) ※		外観観察、電防電位	孔食・寸き主腐食深さ 被覆浮き	
N-13	高耐食性SUS (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)	アングル	JFEスチール		外観観察	孔食・寸き主腐食深さ	
N-14	T溶張付PU被覆 (海中部電防、飛沫・干満帯PU被覆+接着剤+0.4mmTI)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※		外観観察、電防電位	被覆浮き、傷部・補修部評価	
N-15	T溶張付PU被覆	管	JFEスチール		外観観察	被覆浮き、傷部評価	
N-16	T溶張付PU被覆+電気防食	管	JFEスチール		外観観察、電防電位	被覆浮き、傷部評価 陽極消耗量	
N-17	T溶張付PU被覆	管	クボタ		外観観察	被覆浮き、傷部・補修部評価	
N-18	TIラッド+電気防食(-900mV固定)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※		外観観察、電防電位	被覆浮き	
N-19	T被覆ペントラタム補修仕様(TE塗装の一部を補修)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	付着物観察、板厚測定 被覆状況	外観観察	カバース材調査	
N-20	塗装系 ①有機シンク25μm+超厚膜エポキシ(100,200,300,400μm) ②有機シンク+カールエポキシ300μm(傷部φ1.2,5,10mm)	管(角)	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	新規設置	2005年度 塗装試験片回収	2008年度 塗装試験片回収	

※ ()内は旧社名

表-2.2.4 継続暴露試験材に関する回収後の測定項目 (2013 年度)

試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	暴露開始 (年)	回収後の測定項目
A-10-1	キューブロニッケル圧延クラッド	9-1キューブロニッケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	1984.3～	外觀観察、生物付着状況、局部腐食観察
A-13-B	チタン板溶接	B.純チタン(素管) + 純チタン(片)	管	日本チタン協会		外觀観察
A-13-C	チタン板溶接	C.純チタン(素管) + チタン合金(片)	管			外觀観察
A-14	キューブロニッケルクラッド	9-1キューブロニッケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	1991～	外觀観察、生物付着状況、局部腐食観察
C-1	チタンクラッド	TI + 塗装 ¹⁾ + 電防	角管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※3	1991～	外觀観察、生物除去後の外觀態形(詳細)、ターナルエポキシ塗装のふくれ・欠陥比率測定(海中部) 海中部のターナルエポキシ塗装(素管目試験、付着力測定:各6箇所) 絶縁抵抗、交流インピーダンス測定:各4箇所) 厚膜エポキシ塗装(盤目試験、付着力測定:各6箇所) 絶縁抵抗、交流インピーダンス測定:各4箇所) アノード重量・サイズ、測定面の補修、アノード取り替え
H-1	チタンクラッド鋼・ステンレス鋼 ・普通鋼塗装 + 電防	飛沫帯 チタン, 0.4mmt 干漕帯 SUS304鋼, 0.5mmt 海中部 ターナルエポキシ, 300 μm アルミニウム合金腐蝕	管		1998～	外觀観察、生物除去後の外觀態形(詳細)、ターナルエポキシ塗装のふくれ・欠陥比率測定(海中部) 海中部のターナルエポキシ塗装(素管目試験、付着力測定:各2箇所) 絶縁抵抗、交流インピーダンス測定:各2箇所) アノード重量・サイズ
F-2	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	OZF(20 μm) + エポキシ(1250 μm×2) ※1	管	大日本塗料	1993～	外觀観察、電気化学的測定、塗膜下表地金属の状態観察、他(未定)
F-4	ポリウレタン樹脂塗料	プライマー(30 μm) + ポリウレタン(2500 μm) ※1	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料科学) ※3	1993～	外觀観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力
G-2	GF入り着色ビニルエステル	OZF(20 μm) + GF入りビニルエステル(350 μm×2) (OZF塗残り有り) 着色エポキシ(50 μm) + GF入り着色ビニルエステル (350 μm×2)	管	大日本塗料	1993～	外觀観察、電気化学的測定、塗膜下表地金属の状態観察、他(未定)
C-5	ポリウレタン樹脂塗料	着色ポリウレタン(緑2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料科学) ※3	1990～	外觀観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力
C-6	ポリウレタン樹脂塗料	黒色ポリウレタン(黒2500 μm)	管	同上	1990～	外觀観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力

- 1) 上部(鋼) 塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
上部(鋼 + チタンクラッド) 塗装: エポキシ(60 μm×2) + ふっ素(30 + 25 μm)
下部(鋼 + チタンクラッド) 塗装: ターナルエポキシ(150 μm×2)
下部(鋼) 塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
- 2) ※1は、別塗小試験片(板状)を光沢・色差測定用に暴露
- 3) G-2は、上段が初期塗装で下段が補修塗装。補修は現地施工
- 4) ※2は、神戸製鋼所が作製し日本製鋼所が引き継いだ試験材
- 5) ※3の()内は旧社名

表-2.2.5 新規暴露試験材に関する回収後の測定項目 (2013年度)

試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	測定項目
N-1	保護カバークラス	FRP保護カバークラス+特殊防食樹脂a	管	ナカボートテック	FRP保護カバークラス材の引張り強度、曲げ強度、防食層・鋼材素地面の外觀観察、板厚測定
N-2		FRP保護カバークラス+特殊防食樹脂b	管	ナカボートテック	FRP保護カバークラス材の引張り強度、曲げ強度、防食層・鋼材素地面の外觀観察、板厚測定
N-3		PE被覆鋼材(改良系1)	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、傷部:劣化進展、板厚減少量、錆発生面積の測定
N-4		PE被覆鋼材(改良系2)	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、アノード重量、サイズ
N-5		PE被覆鋼材(改良系2)	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、アノード重量、サイズ
N-6		PE被覆鋼材(改良系2)	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、アノード重量、サイズ
N-7	ステンレス系	高耐食性SUS+電気防食(海中部電防、飛沫・干満帯SUS被覆) (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	有機被覆部:密着付着力・硬度、衝撃強度、絶縁抵抗、交流インピーダンス測定 金属被覆部:寸きま腐食、溶接部の健全性 補修部:腐食の進捗、板厚減少量 アノード重量、サイズ
N-8		高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※	金属被覆部:外觀観察
N-9		高耐食性SUSa被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.上に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※	金属被覆部:外觀観察、被覆内部の劣化進展
N-10		高耐食性SUSb被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.下に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※	金属被覆部:外觀観察、被覆内部の劣化進展
N-11		高耐食性SUS+電気防食 (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKINI/川崎) ※	金属被覆部:外觀観察、電位測定、被覆浮き・寸きま内部の腐食有無・素管板厚・被覆厚 寸きま腐食再不動態化電位測定
N-12		高耐食性SUS+電気防食 (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKINI/川崎) ※	金属被覆部:外觀観察、電位測定、被覆浮き・寸きま内部の腐食有無・素管板厚・被覆厚 寸きま腐食再不動態化電位測定
N-13		高耐食性SUS (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)	アングル	JFEスチール	アノード重量
N-14		Ti箔張付PU被覆 (海中部電防、飛沫・干満帯PU被覆+接善剤+0.4mmTI)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	有機被覆部:密着付着力・硬度、衝撃強度、絶縁抵抗、交流インピーダンス測定 金属被覆部:衝撃強度、密着強度(アドヒージョンテスト)、溶接部の健全性 傷部、衝撃部:劣化進展、板厚減少量 アノード重量、サイズ
N-15		Ti箔張付PU被覆	管	JFEスチール	有機被覆部:被覆密着力 金属被覆部:衝撃強度・密着強度(ピール強度) 傷部、衝撃部:劣化進展、板厚減少量
N-16		Ti箔張付PU被覆+電気防食	管	JFEスチール	有機被覆部:被覆密着力 金属被覆部:衝撃強度・密着強度(ピール強度) 傷部、衝撃部:劣化進展、板厚減少量 アノード重量、サイズ
N-17	Ti板張付PU被覆	管	クボタ	金属被覆部:密着付着力・硬度、衝撃強度、絶縁抵抗、交流インピーダンス測定 金属被覆部:衝撃強度・密着強度(アドヒージョンテスト)、溶接部の健全性 傷部、衝撃部:劣化進展、板厚減少量	
N-18	TIクラッド+電気防食(-900mV固定)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	金属被覆部:水素化の程度 アノード重量、サイズ	
N-19	TI被覆+トログラム補修仕様(TI塗装の一部を補修)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	補修部の解体、板厚減少量、塗装部の劣化測定	
N-20	塗装系	管(角)	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※		

※ ()内は旧社名

表-2.3.1 継続暴露試験材の分類

テーマ	次	試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社	暴露開始(年)
1	1	A-10-1	キユプロニッケル圧延クラッド	9-1キユプロニッケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	1984.3～
		A-13-B	チタン板溶接	B.純チタン(素管) + 純チタン(片)	管	日本チタン協会	
		A-13-C	チタン板溶接	C.純チタン(素管) + チタン合金(片)	管		
	A-14	キユプロニッケルクラッド	9-1キユプロニッケル	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ※2	1991～	
	2	C-1	チタンクラッド	TT + 塗装 ¹⁾ + 電防	角管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※3	1991～
		H-1	チタンクラッド鋼・ステンレス鋼 ・普通鋼塗装 + 電防	飛沫帯 チタン, 0.4mm 干満帯 SUS304鋼, 0.5mm 海中部 タールエポキシ, 300 μm アルミニウム合金陽極	管		1998～
F-2		超厚膜型エポキシ樹脂塗料	OZP(20 μm) + エポキシ(1250 μm × 2) ※1	管	大日本塗料		1993～
3	2	F-4	ポリウレタン樹脂塗料	プライマー(30 μm) + ポリウレタン(2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料科学) ※3	1993～
		G-2	GF入り着色ビニルエステル	OZP(20 μm) + GF入りビニルエステル(350 μm × 2) (OZP塗り無し有り)	管	大日本塗料	1993～
			変性エポキシ(50 μm) + GF入り着色ビニルエステル(350 μm × 2)				
	3	C-5	ポリウレタン樹脂塗料	着色ポリウレタン(緑2500 μm)	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料化学) ※3	1990～
		C-6	ポリウレタン樹脂塗料	黒色ポリウレタン(黒2500 μm)	管		1990～

- 1) 上部(鋼) 塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
 上部(鋼 + チタンクラッド) 塗装: エポキシ(60 μm × 2) + ふっ素(30 + 25 μm)
 下部(鋼 + チタンクラッド) 塗装: タールエポキシ(150 μm × 2)
 下部(鋼) 塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
- 2) ※1 は、別途小試験片(板状)を光沢・色差測定用に暴露
- 3) G-2は、上段が初期塗装で下段が補修塗装。補修は現地施工
- 4) ※2 は、神戸製鋼所が作製し日本製鋼所が引き継いだ試験材
- 5) ※3 の()内は旧社名

表-2.3.2 新規暴露試験材の分類

テーマ	次	試験材	防食系	防食仕様	形状	製作担当会社
3		N-1	保護カバース系	FRP保護カバース+特殊防食樹脂a	管	ナカボートテック
		N-2		FRP保護カバース+特殊防食樹脂b	管	ナカボートテック
		N-3	PE被覆系	PE被覆鋼材(改良系1)	管	JFEスチール
		N-4		PE被覆鋼材(改良系1+電気防食)	管	JFEスチール
		N-5		PE被覆鋼材(改良系2)	管	JFEスチール
		N-6		PE被覆鋼材(改良系2+電気防食)	管	JFEスチール
N-7	ステンレス系	高耐食性SUS+電気防食(海中部電防、飛沫・干満時SUS被覆)	(20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	
N-8			二相系ステンレス被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※	
N-9		二相系ステンレス被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.上に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※		
N-10		二相系ステンレス被覆+ステージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.下に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業) ※		
N-11		高耐食性SUS+電気防食 (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKINI川崎) ※		
N-12		高耐食性SUS+電気防食 (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)	管	日本冶金工業 (YAKINI川崎) ※		
N-13		高耐食性SUS (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)	アングル	JFEスチール		
N-14		チタン系	Ti箔張付PU被覆 (海中部電防、飛沫・干満時PU被覆+接着剤+0.4mmTi)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※	
N-15			Ti箔張付PU被覆	管	JFEスチール	
N-16		チタン系	Ti箔張付PU被覆+電気防食	管	JFEスチール	
N-17	Ti板張付PU被覆		管	クボタ		
N-18	Tiクラッド+電気防食(-900mV固定)		管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※		
N-19	Ti被覆ペトリオラム補修仕様(TE塗装の一部を補修)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※			
3		N-20	塗装系	①有機シンク25μm+超厚膜エポキシ(100,200,300,400μm) ②有機シンク25μm+ターナルエポキシ300μm(傷部φ1.2,5,10mm)	管(角)	新日鐵住金 (新日本製鐵) ※

※ ()内は旧社名

2.4 試験方法

2.4.1 試験材供試位置

旧暴露試験からの継続暴露試験材を 11 本(A-10-1, A-13-B, A-13-C, A-14, C-1, H-1, F-2, F-4, G-2, C-5, C-6)、2003 年度から暴露試験を開始した新規暴露試験材 19 本(N-1~N-19)および 2004 年度に新たに追加した新規暴露試験材 1 本(N-20)を試験施設本体の試験材受け台に飛沫帯から海中部にまたがって取り付け暴露した。図-2.4.1.1 に各試験材の平面配置を、図-2.4.1.2 に光沢・色差測定用試験片の形状と暴露配置を示す。

2.4.2 調査項目および調査方法

表-2.1.1 および表-2.1.2 に示す長期計画に基づき、2013 年度は暴露試験材の現地調査を行なうとともに詳細調査を実施した。現地調査項目は、表-2.2.2 および表-2.2.3 に示す一般調査項目が対象となる。

表-2.4.2.1 には 2013 年度定期一般調査項目に対する方法を示す。2013 年度定期一般調査では、各試験材の外観観察の他に所定の位置を対象とした塗膜厚さ、交流インピーダンス測定、ピンホールの有無、電位測定を実施した。詳細調査については、各試験材毎に方法が異なるため、第 3 章にて試験材毎に記述した。

また、本試験では各試験材が暴露されている環境状態を把握するものの一つとして、研究施設付近の海水を採取し、水素イオン濃度(pH)、比抵抗、溶存酸素(DO)、塩化物イオン濃度、硫酸イオン濃度および水温の測定を行った。

なお、光沢度・色差測定は、試験片測定面の悪化により本年度を含め 2008 年度調査より実施していない。しかし、本来定期一般調査においても実施する予定であったため、ここでは 2005 年度一般調査時の調査方法を示す。

(1) 外観観察

試験施設に暴露された試験材の外観状況を目視により生物付着状況・欠陥部の異状の有無・腐食や発錆箇所の有無などを観察し、記録表にスケッチした。スケッチは、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記録した。方向は、東西南北で示した。試験材が管状もしくは山形状(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。また、外観状況の写真撮影を行った。

(2) 電位測定

測定は、配置状態での内側面を対象として、海面から試験材下端部までの範囲を 500mm ごとに行った。測定に用いた基準電極は、飽和カロメル電極である。

(3) 膜厚測定

測定は、配置状態での内側面を対象として、試験材の上端部より下方 500mm の位置で塗膜欠陥や発錆のない箇所を測定面とした。

(4) 交流インピーダンス測定

測定は、試験材の上端部より下方 500mm の位置とし、塗膜表面に 50×50mm のアルミニウム箔電極を貼り付け対極とし、試験材との間の交流抵抗値を測定した。電極の貼り付けには、ペースト状の CMC(カルボ

キシメチルセルロース)を用いた。

(5) ピンホール測定

測定は、試験材の上端部から下方 500mm までの範囲内で塗装欠陥や発錆のない箇所を測定した。

(6) 光沢度・色差測定

測定は、試験片(試験施設第3 デッキ 1A-2A 間に暴露された小試験片)の中央付近を測定箇所とし、光沢計および色差計を用いて測定した。

(7) 環境調査(海水分析)

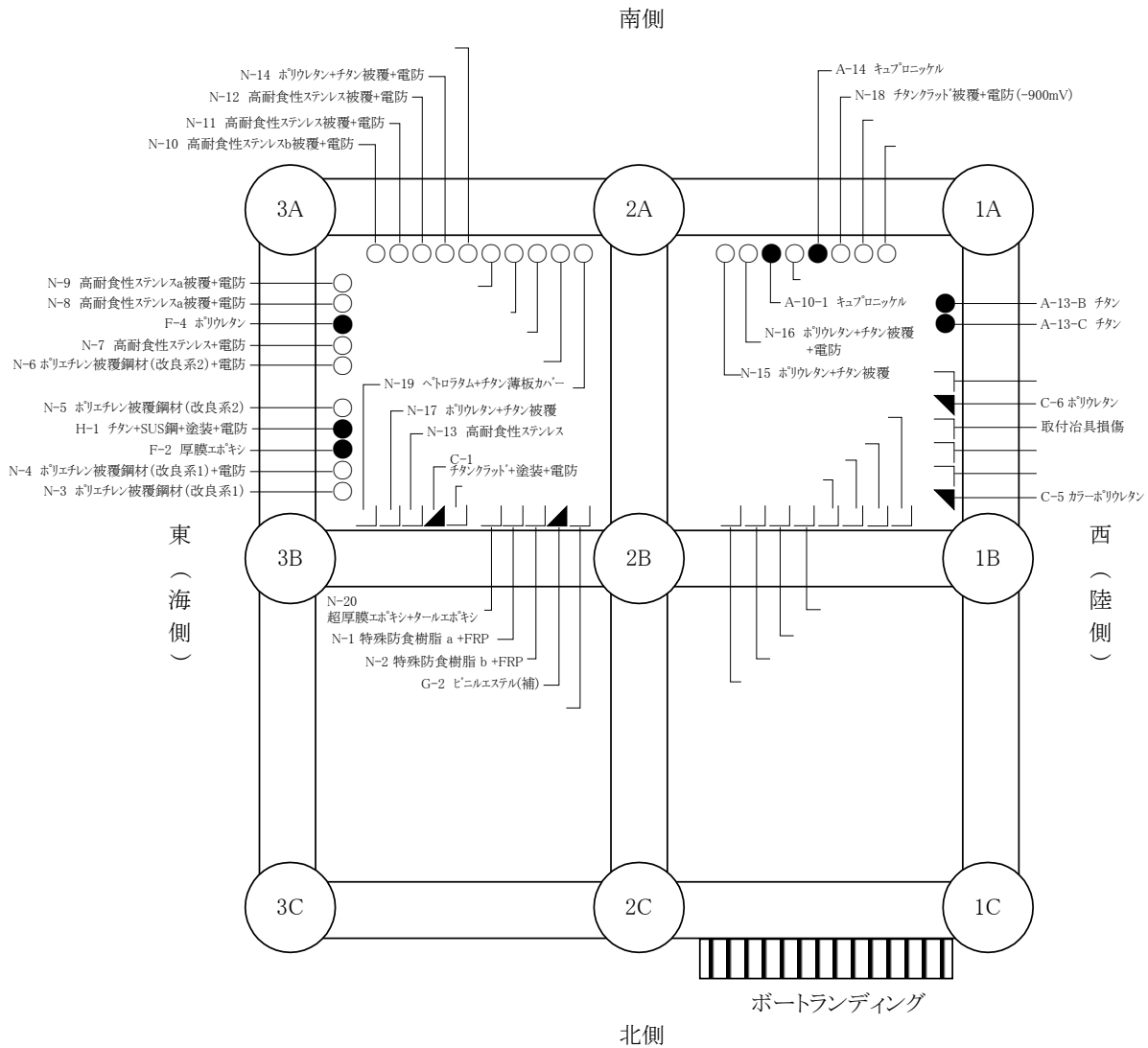
試験施設内の海域において、表層(海面から 1m 以内の範囲)および底層(海底から 1m 以内の範囲)の海水を採水し分析を行った。なお、現地では溶存酸素・水温を測定し、実験室では水素イオン濃度・比抵抗・塩化物イオン濃度および硫酸イオン濃度を測定した。

表-2.4.2.1 調査項目および方法

調査項目		方法
一般調査項目	外観観察	目視(健全部、異状部)、写真撮影
	生物付着状況	目視
	膜厚測定	Kett 膜厚計、VL-30B、レンジⅢ(300 μm～8mm)
	交流インピーダンス測定 ^{※1}	三田無線、LCR メーター、D-55(交流 0.2,0.5,1kHz)
	塗膜ピンホール測定	サンコー電子、ホスター I 型(3～12kV)、5kV 印加
	色差 ^{※2}	ミルタカメラ、CR-300
	光沢度 ^{※2}	BYK Micro TRI Gross
電位測定	飽和カロメル電極、デジタルマルチメーター	

※1 旧暴露試験における現場測定にて交流インピーダンス値の初期値(1984～1986 年度)が、その後の値に比べ 1/10 から 1/100 程度低い値を示したことに対して、測定箇所が海面に近い飛沫帯にあり、海水の飛沫、塩分の堆積やその湿潤性による影響を受け、測定部周辺の表面のリーク電流を含んでいるため低い交流抵抗値になったと考えられた。そこで、これらの影響を排除するように検討した結果、1987 年以降は測定面の純水による十分な洗浄や、測定までの海塩粒子再付着防止用のビニルシートの貼り付け(シリカゲル封入、1 時間程度)を実施して測定を行った。

※2 色差・光沢度の測定は、小試験片(F-2-1)を対象とし、2005 年度定期一般調査では実施したが、2008 年度調査時には測定面として良好な状態でなく、以降現地調査時の測定は取りやめた。



1. 2003年度継続(再設置)試験材 11本

テーマ1 6本
A-10-1、A-13-B、A-13-C、A-14、C-1、H-1

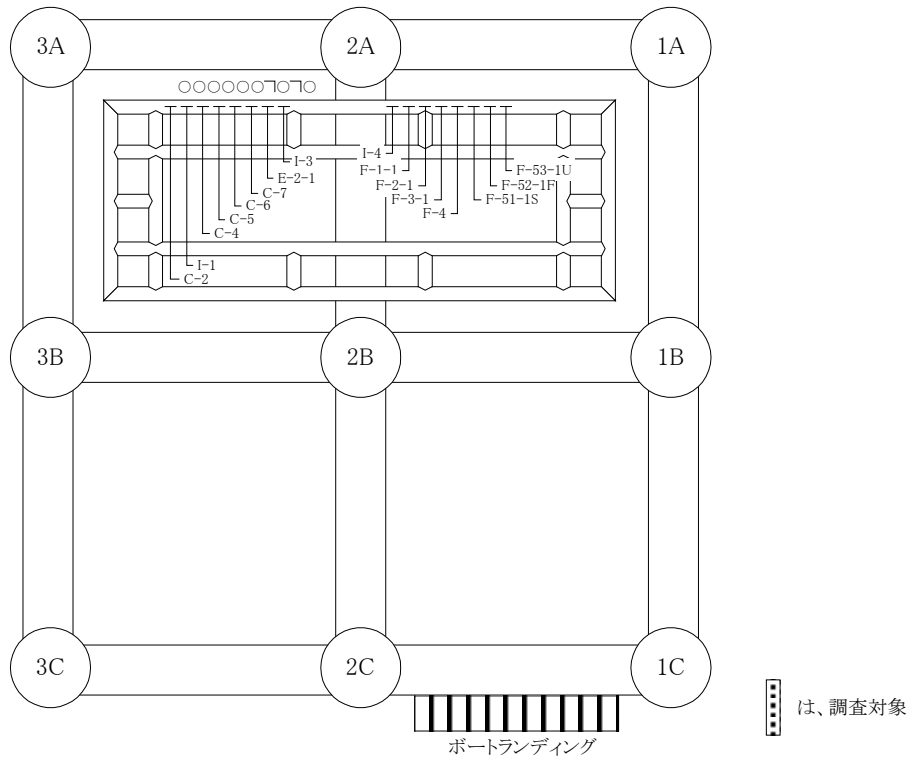
テーマ3 5本
C-5、C-6、F-2、F-4、G-2

2. 2003年度以降新規取付試験材 20本

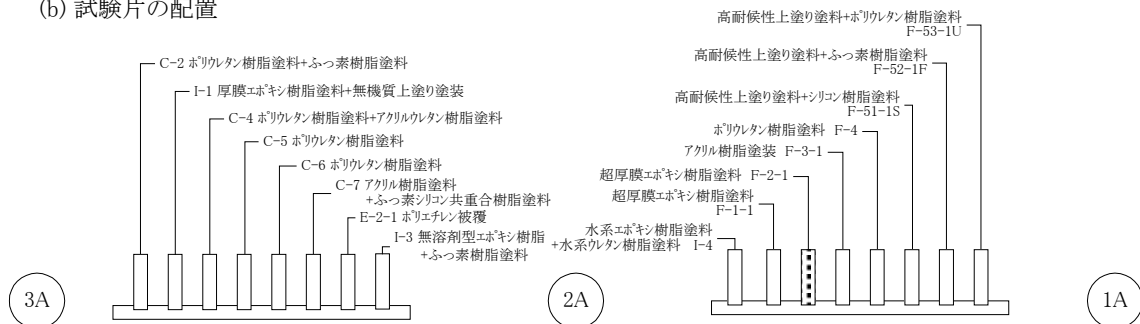
テーマ1 13本 N-7～N-19 (2003年度設置)
テーマ3 6本 N-1～N-6 (2003年度設置)
テーマ3 1本 N-20 (2004年度設置)

図-24.1.1 継続暴露試験材および新規暴露試験材の暴露配置図

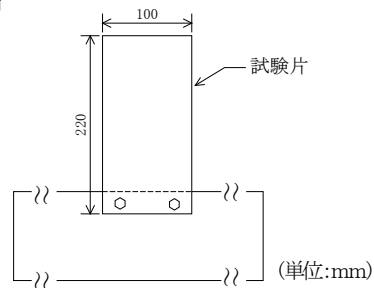
(a) 暴露位置



(b) 試験片の配置



(c) 試験片



試験片 暴露

- C系 : 1996年～
- E系 : 1996年～(E-1-1、E-3-1を除く)
- F系 : 1996年～
- I系 : 1998年～

C系片, F系片, I系片, E-2-1片

図-2.4.1.2 光沢・色差測定用試験片の形状と暴露配置(2003年度調査後の現状)

2.5 継続暴露試験材

各継続暴露試験材に関する諸項目を試験材別に示す。

2.5.1 試験材 A-10-1

(1) 試験目的

炭素鋼上に金属被覆(9-1 キュプロニッケル)を施すことで、優れた長期耐海生生物付着性による長期メンテナンスフリー性(生物除去することなく長期間使用可能)を維持することを目的とする。

(2) 試験材外観

図-2.5.1.1 に試験材外観図を示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.1.1 に示す。

表-2.5.1.1 防食仕様(A-10-1) 暴露開始:1984年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
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)	管	165.2φ × 3500 ^l × 12 ^t	2

(4) 製造工程

熱間圧延法によって製造した9-1 キュプロニッケルクラッド鋼を管状に成型した。

(5) 初期データ

9-1 キュプロニッケル金属被覆材の成分を表-2.5.1.2 に示す。

表-2.5.1.2 被覆材の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
質量%	—	—	0.74	—	—	—	9.36	—	88.53

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

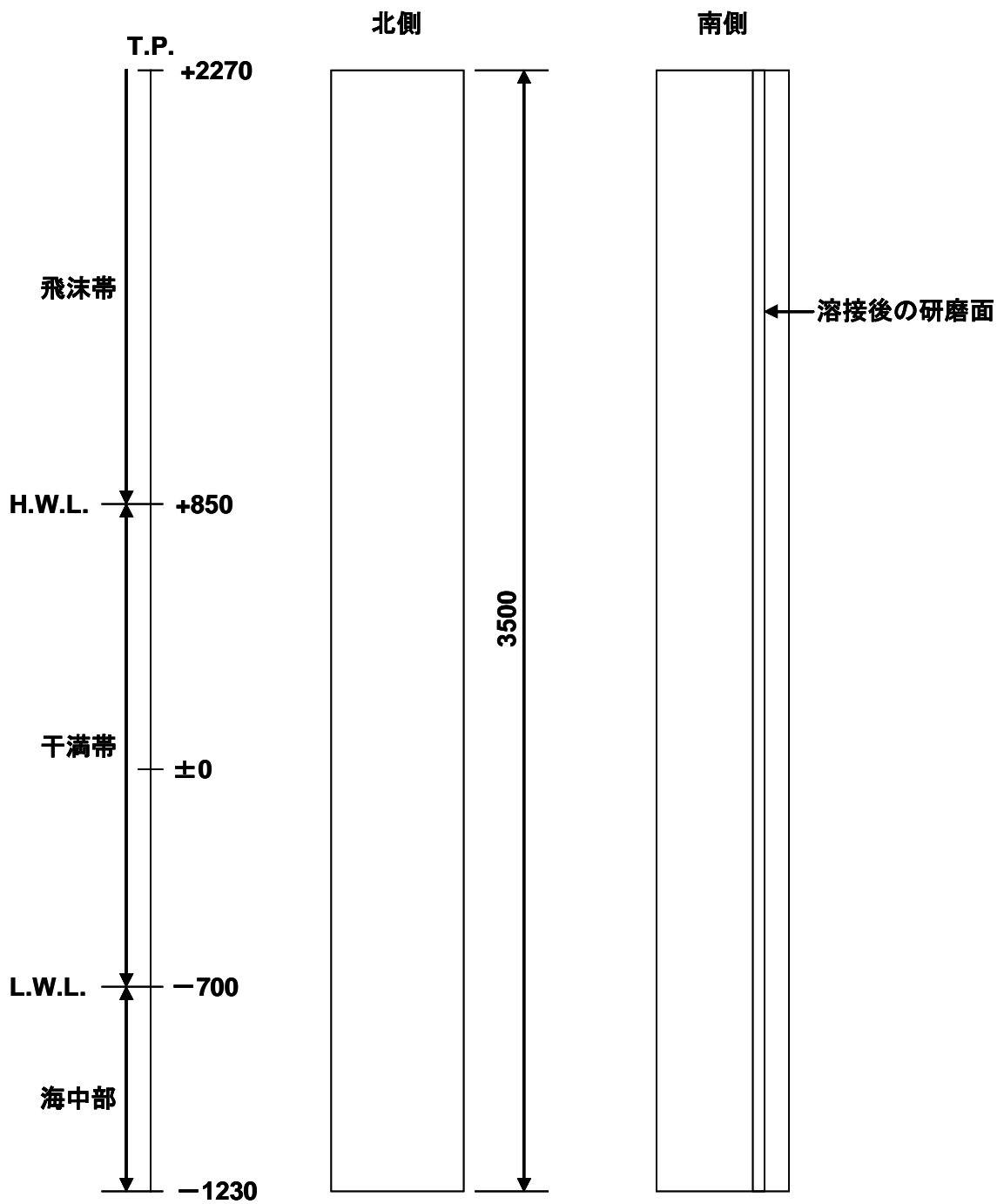


図-2.5.1.1 試験材A-10-1 外観図 (単位mm、以下全て同じ)

2.5.2 試験材 A-13-B

(1) 試験目的

鋼管外面を純チタン(Commercial Pure Ti)で被覆し、鋼管の耐食性向上への効果を確認する。また、チタンおよびチタン合金の耐食性とすきま腐食発生の有無を確認し、より長期の防食性への可能性を検証することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.2.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.2.1 に示す。

表-2.5.2.1 防食仕様(A-13-B) 暴露開始:1984年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
チタン板溶接	①チタン:JIS H 4600 /TP35C ②チタン片:JIS H 4600/TP28C,TP35C, TP49C,ASTMGr4	管	STPG38 165.2φ×3500 ^l ×12 ^t	3.4

(4) 製造工程

素管である鋼管の外面を溶接工法により純チタンで被覆し、この純チタン上に純チタンの短冊状板を溶接工法にて取り付け付けた。

(5) 初期データ

鋼管に被覆された純チタンの化学成分を表-2.5.2.2 に示す。

純チタン:JIS H 4600 TP35C

表-2.5.2.2 被覆材の化学成分

元素	C	Fe	N	O	H	Al	V	Ni	Mo	Ti
質量%	—	0.061	0.0039	0.079	0.0019	—	—	—		残

短冊状板の純チタンの取り付け位置図を図-2.5.2.2 に、化学成分を表-2.5.2.3 に示す。

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

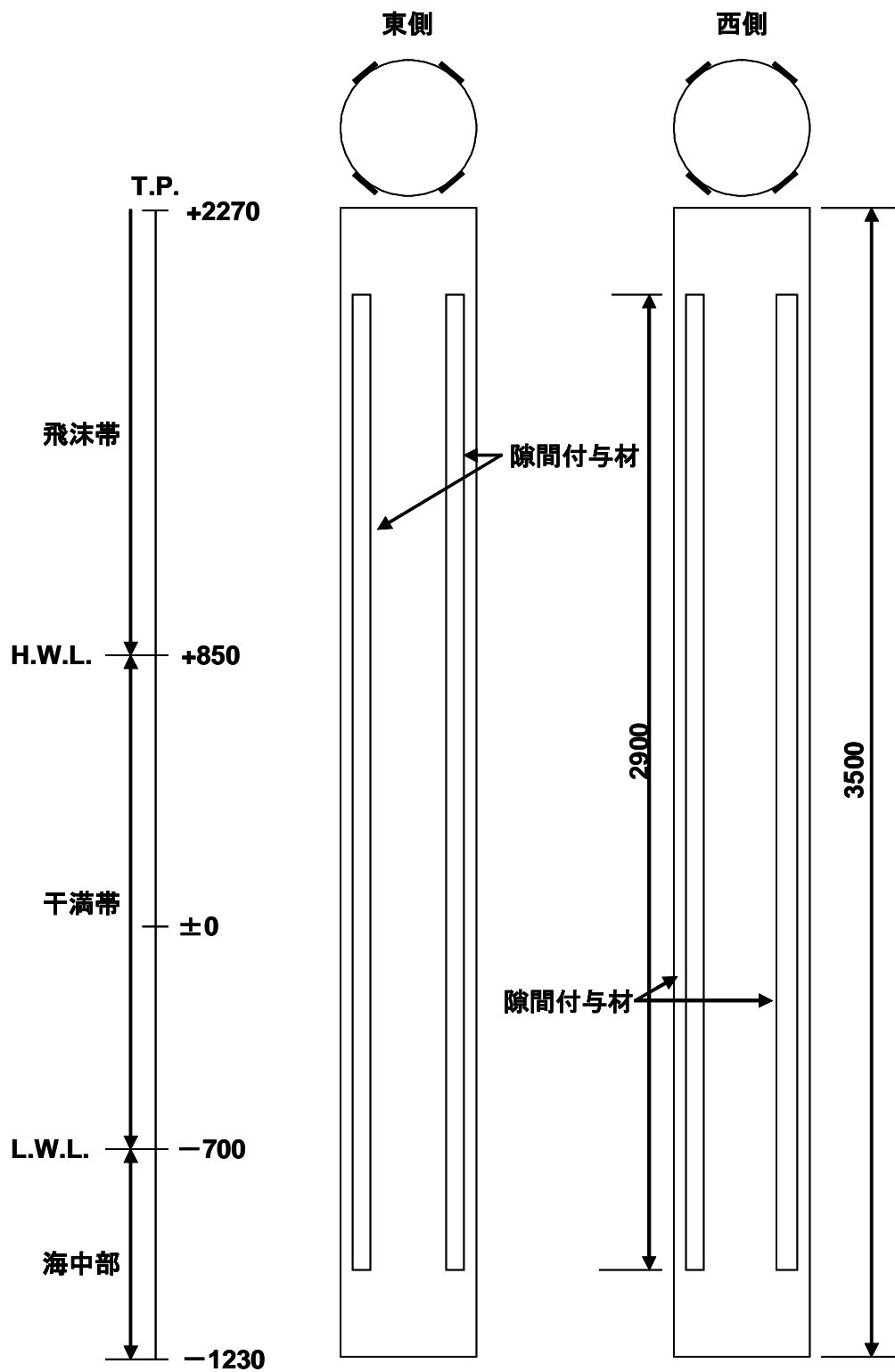
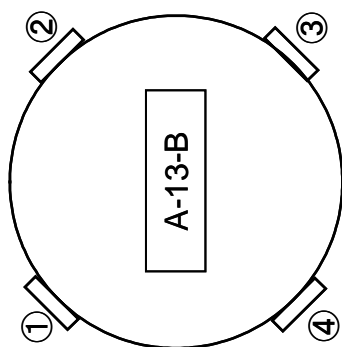


図-2.5.2.1 試験材A-13-B 外観図



杭1B ————— 杭1A
試験材取付架台

図-2.5.2.2 A-13-Bに取り付けられたすきま付与材(短冊状板)の位置

表-2.5.2.3 A-13-Bに取り付けられたすきま付与材(短冊状板)の化学成分 (mass%)

試験材	すきま付与材(短冊状板)		C	Fe	N	O	H	Al	V	Ni	Mo	Ti
	No.	記号										
A-13-B	①	TP35C	純チタン JIS2種	0.061	0.0039	0.079	0.0019					残
	②	TP49C	純チタン JIS3種	0.135	0.0038	0.151	<0.001					残
	③	Gr4	純チタン ASTM0265	0.172	0.0037	0.283	0.0033					残
	④	TP28C	純チタン JIS1種	0.043	0.0031	0.040	0.0016					残

試験片寸法: 20^w × 2^t × 2900^l mm

試験材: 管状 純チタン巻き TP35C; JIS H 4600

2.5.3 試験材 A-13-C

(1) 試験目的

鋼管外面を純チタン(Commercial Pure Ti)で被覆し、鋼管の耐食性向上への効果を確認する。また、チタンおよびチタン合金の耐食性とすきま腐食発生の有無を確認し、より長期の耐食性への可能性を検証することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.3.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.3.1に示す。

表-2.5.3.1 防食仕様(A-13-C) 暴露開始:1984年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
チタン板溶接	①チタン:JIS H 4600 /TP35C ②チタン合金片:ASTM B265/Gr5,Gr12 Ti-3Al-2.5V	管	STPG38 165.2φ×3500 ^l ×12 ^t	3.4

(4) 製造工程

素管である鋼管の外面を溶接工法により純チタンで被覆し、この純チタン上にチタン合金の短冊状板を溶接工法にて取り付けられた。

(5) 初期データ

鋼管に被覆された純チタンの化学成分を表-2.5.3.2に示す。

純チタン:JIS H 4600 TP35C

表-2.5.3.2 被覆材の化学成分

元素	C	Fe	N	O	H	Al	V	Ni	Mo	Ti
質量%	—	0.061	0.0039	0.079	0.0019	—	—	—		残

短冊状板の純チタンおよびチタン合金の取り付け位置図を図-2.5.3.2に、化学成分を表-2.5.3.3に示す。

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

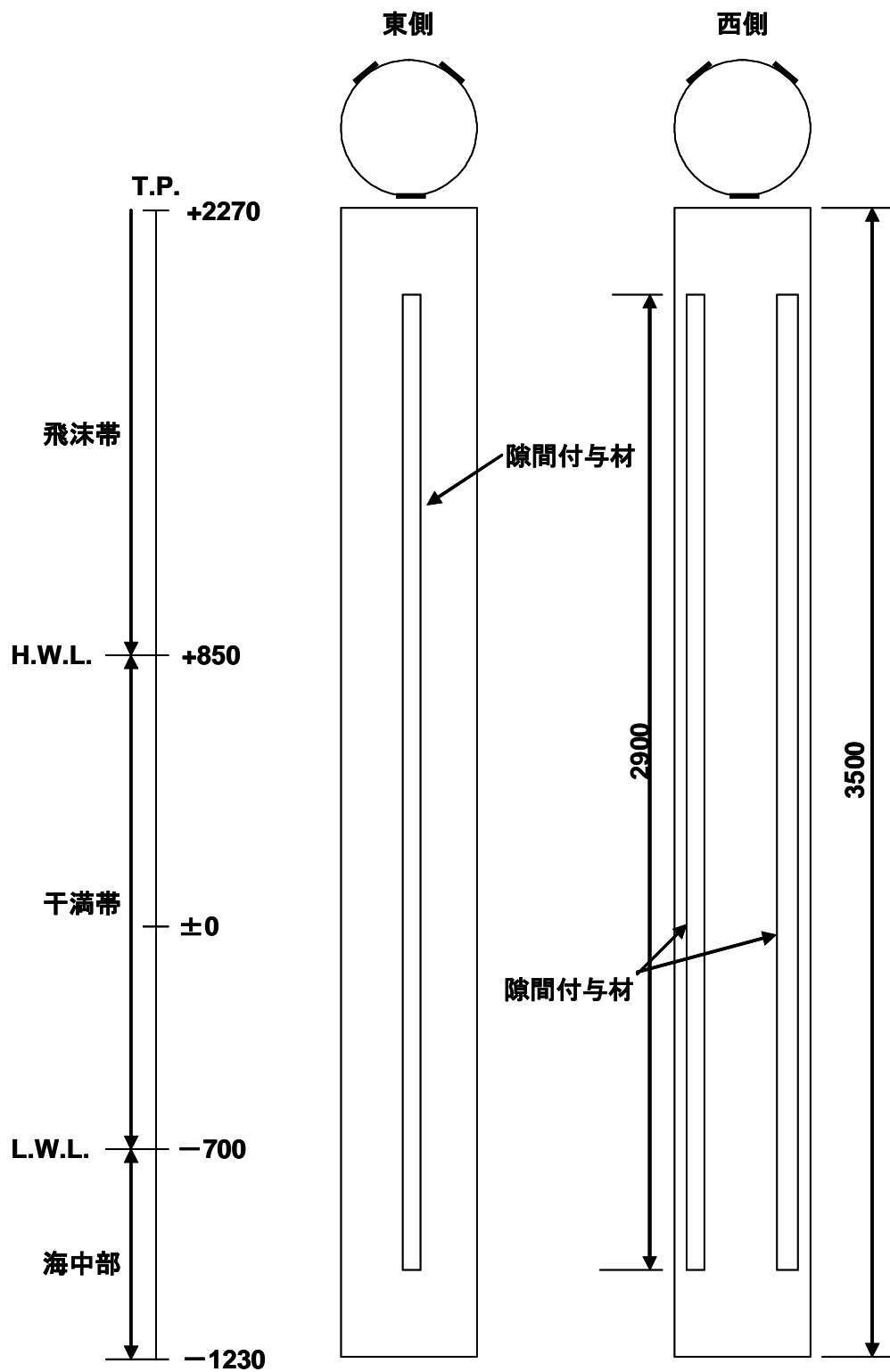
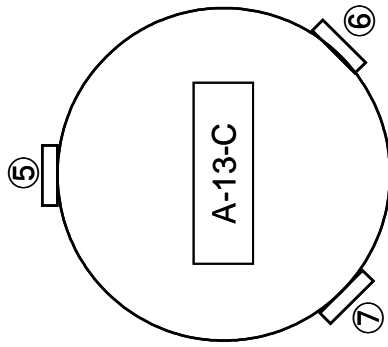


図-2.5.3.1 試験材A-13-C 外観図



杭1B ————— 杭1A
試験材取付架台

図-2.5.3.2 A-13-Cに取り付けられたすきま付与材(短冊状板)の位置

表-2.5.3.3 A-13-Cに取り付けられたすきま付与材(短冊状板)の化学成分 (mass%)

試験材	すきま付与材(短冊状板)		C	Fe	N	O	H	Al	V	Ni	Mo	Ti
	No.	記号										
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			残
	⑥	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	残
	⑦	チタン合金 ASTM B265 (Ti-6Al-4V)	0.011	0.228	0.0029	0.140	0.0071	6.59	4.42			残

試験片寸法: 20^W × 2^t × 2900^l mm

試験材: 管状 純チタン巻き TP35C; JIS H 4600

2.5.4 試験材 A-14

(1) 試験目的

炭素鋼上に金属被覆(9-1 キュプロニッケル)を施すことで、優れた長期耐海生生物付着性による長期メンテナンスフリー性(生物除去することなく長期間使用可能)を維持することを目的とする。

(2) 試験材外観

図-2.5.4.1 に試験材外観図を示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.4.1 に示す。

表-2.5.4.1 防食仕様(A-14) 暴露開始:1991年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
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)	管	165.2 φ × 3162' × 9'	2

(4) 製造工程

熱間圧延法によって製造した9-1 キュプロニッケルクラッド鋼を管状に成型した。

(5) 初期データ

9-1 キュプロニッケル金属被覆材の成分を表-2.5.4.2 に示す。

表-2.5.4.2 被覆材の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
質量%	—	—	0.46	—	—	—	9.47	—	残

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

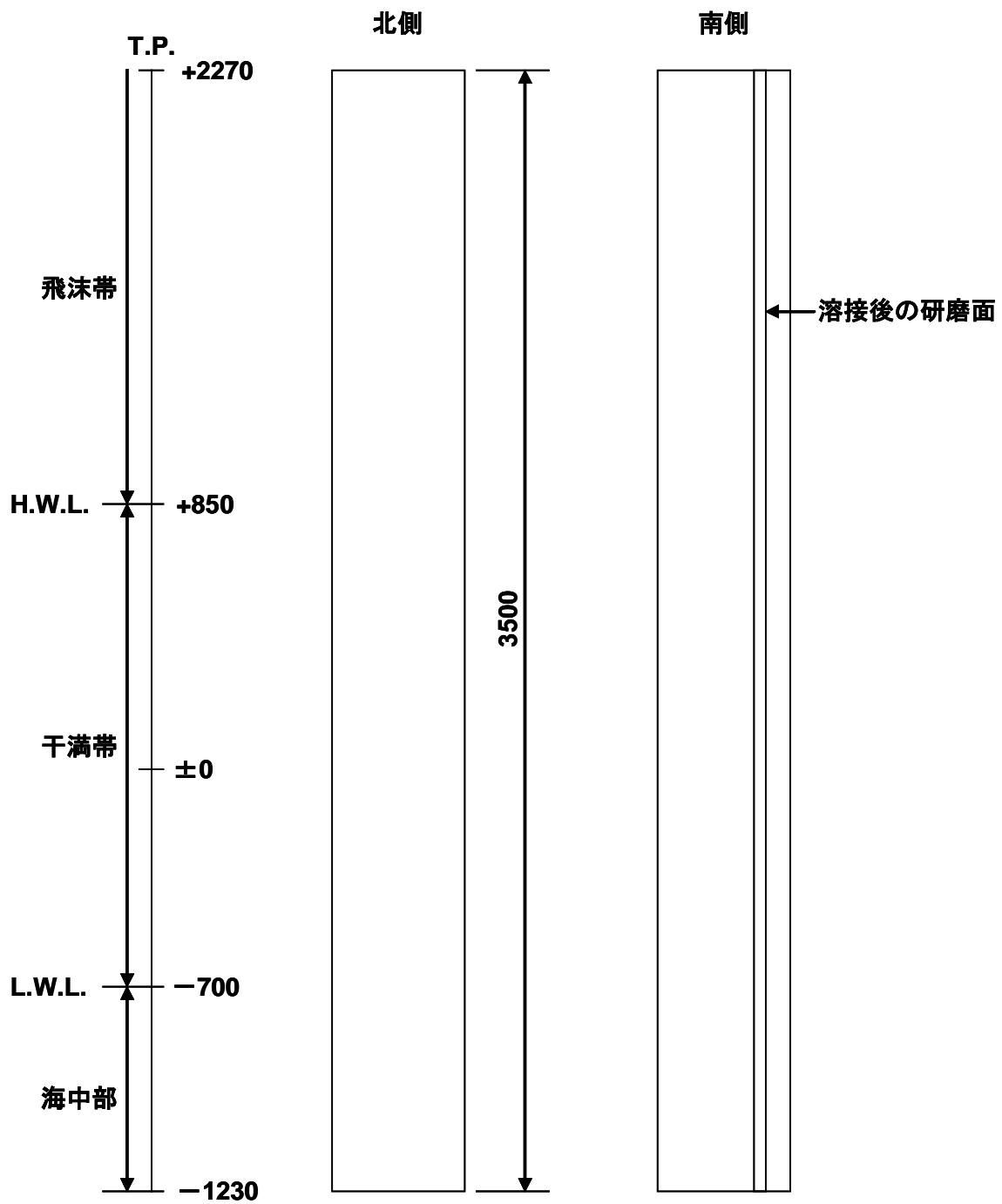


図-2.5.4.1 試験材 A-14 外観図

2.5.5 試験材 C-1

(1) 試験目的

海洋環境での長期耐久性を有し、衝撃や傷に対して強い防食材料としてチタンクラッド鋼について長期の耐久性を評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.5.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.5.1 に示す。

表-2.5.5.1 防食仕様(C-1) 暴露開始:1991年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
チタンクラッド	純チタンクラッド+塗装 ¹⁾ +電気防食	角管	被覆 Ti 1 ¹⁾ 、部分塗装 150×150×3162 ¹⁾ ×5 ¹⁾	1(Ti部)

1)上部(鋼) 塗装:無機シリケート(75 μm) + エポキシ(ミストコート)

上部(鋼+チタンクラッド) 塗装:エポキシ(60 μm×2) + ふっ素(30+25 μm)

下部(鋼+チタンクラッド) 塗装:タールエポキシ(150 μm×2)

下部(鋼) 塗装:無機シリケート(75 μm) + エポキシ(ミストコート)

(4) 製造工程

素管である鋼管(角管)の外面にチタンクラッドを溶接。

試験材上部(飛沫部)および下部(海中部)に塗装を施工。

試験材下部(海中部)に、電気防食用アルミニウム合金陽極を設置。

(5) 初期データ

なし

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

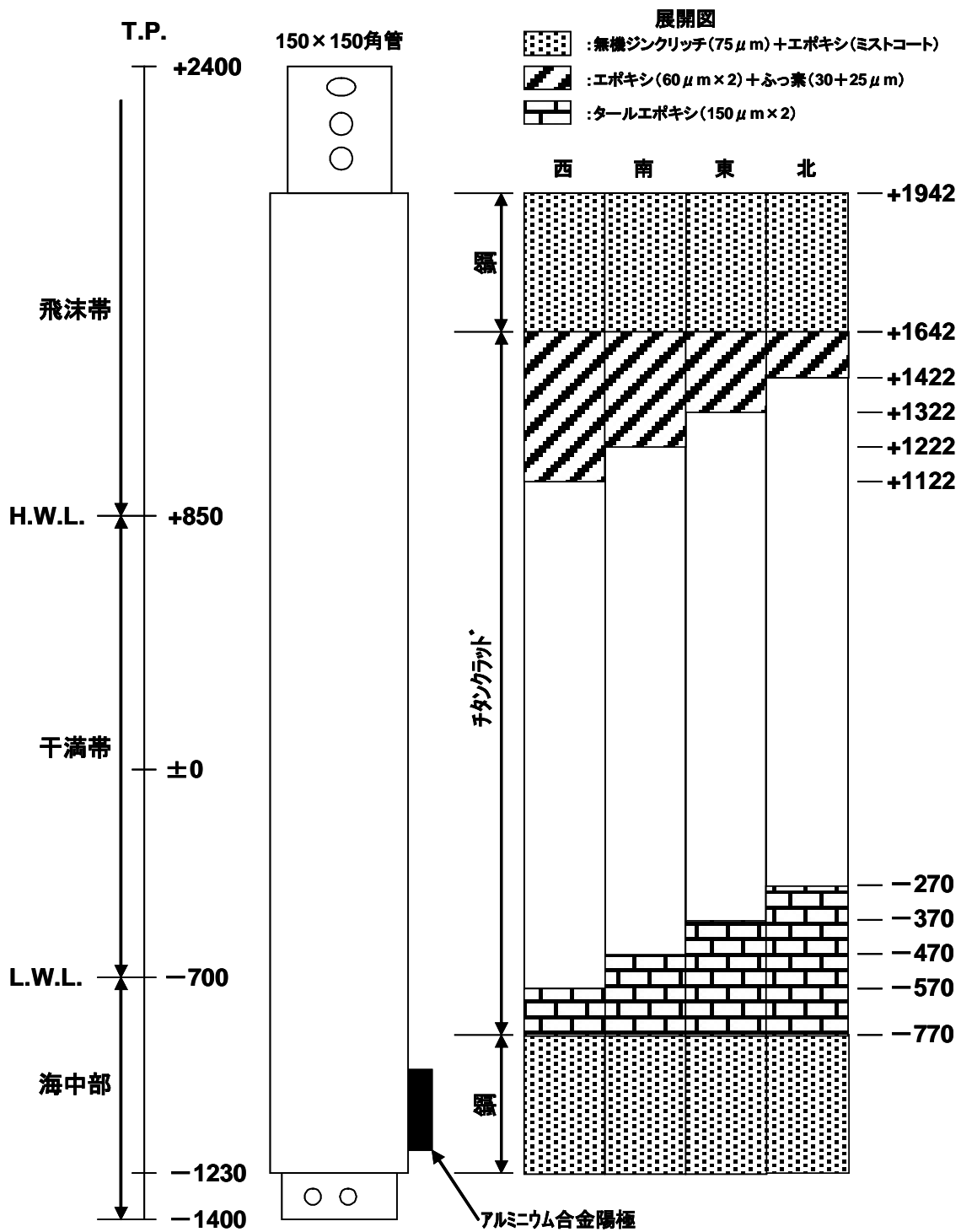


図-2.5.5.1 試験材C-1 外観図

2.5.6 試験材 H-1

(1) 試験目的

海洋環境での長期耐久性を有し、衝撃や傷に対して強い金属系防食材料としてチタンクラッド鋼と低価格の SUS304 鋼、さらに塗装を組み合わせた総合的な防食法を適用し、長期の耐久性を評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.6.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.6.1 に示す。

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚
チタン+ステンレス +塗装+電気防食	飛沫帯:純チタン(0.4mm) 干満帯:SUS304鋼(0.5mm) 海中部:タールエポキシ(300μm) アルミニウム合金陽極	管	SGP150A 165.2φ×3500 ^l ×11 ^t	純Ti部:0.4mm SUS304:0.5mm タールエポキシ:300μm

(4) 製造工程

素管 SGP(150A×11^t) → チタンクラッド → SUS304 溶接 → 塗装、電気防食

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.5.6.2、チタンの化学成分を表-2.5.6.3 および SUS304 の化学成分を表-2.5.6.4 に示す。また、タールエポキシ塗装部およびチタン被覆部の膜厚を表-2.5.6.5 に示す。

表-2.5.6.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	その他
質量%	0.08	0.01	0.35	0.011	0.005	—	Cu(0.12),Ti(0.025)

表-2.5.6.3 チタンの化学成分

元素	H	O	N	C	Fe	Ti	その他
質量%	0.001	0.10	0.01	0.01	0.04	BAL	

表-2.5.6.4 SUS304 の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.05	0.61	0.99	0.027	0.004	18.28	8.56	

(6)人工傷・衝撃付与
なし

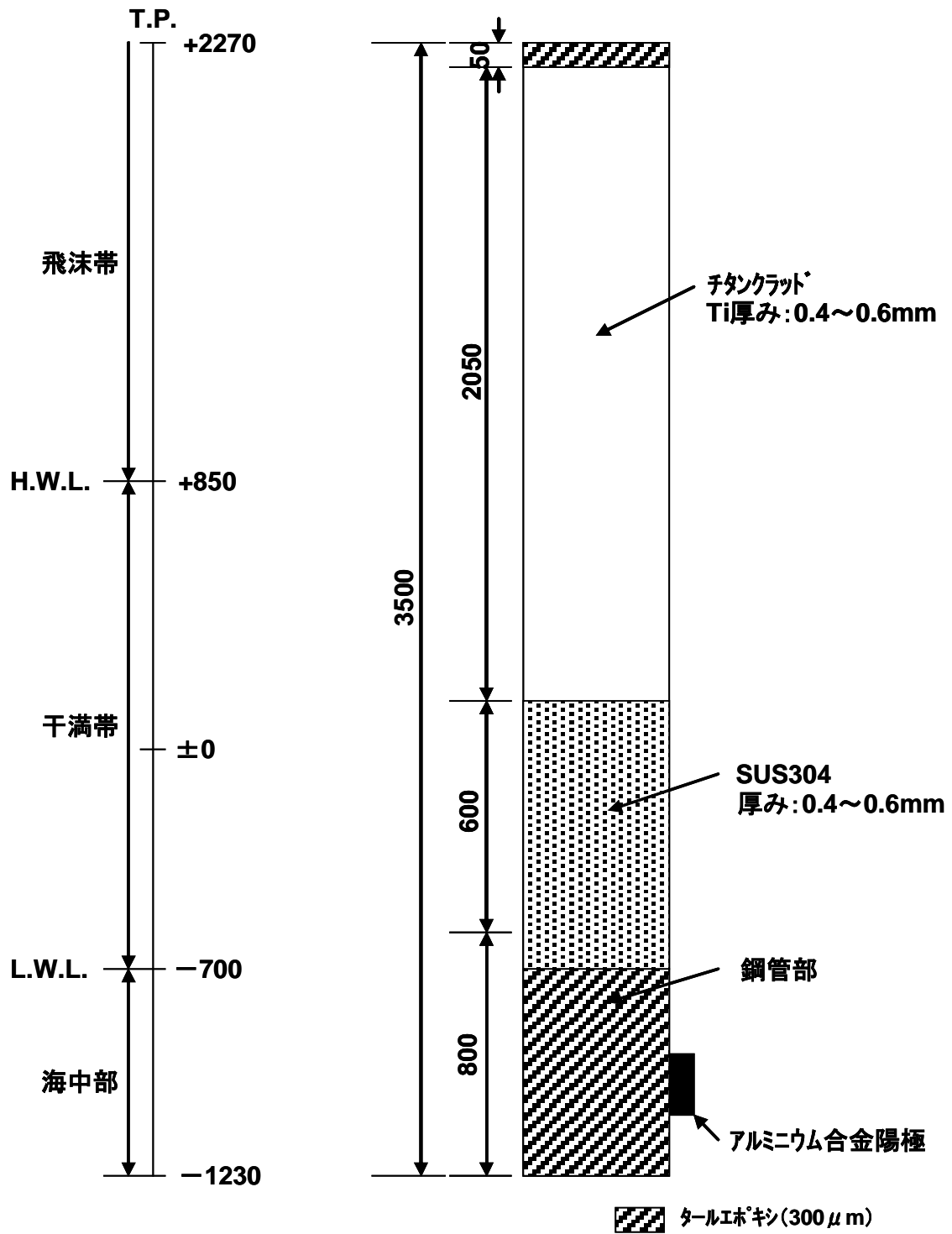


図-2.5.6.1 試験材H-1 外観図

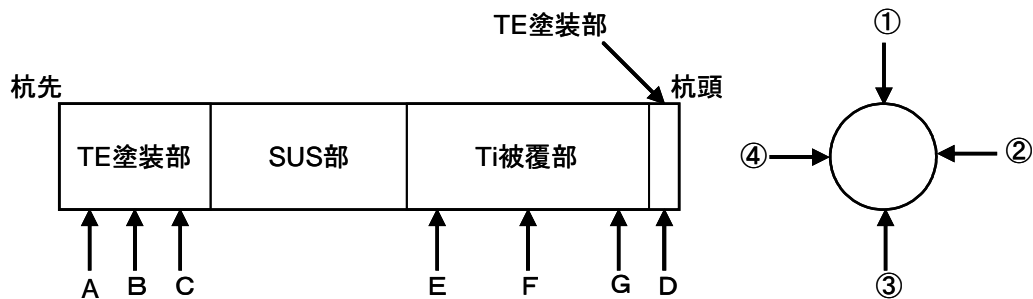


表-2.5.6.5 試験材 H-1 の膜厚測定結果

部位		円周方向に対する膜厚(A~D: μ m, E~G:mm)			
		①	②	③	④
TE部	A	720	810	810	815
	B	660	850	760	660
	C	810	660	820	900
	D	580	670	700	900
Ti部	E	2.3	1.8	1.7	2.0
	F	1.7	1.8	2.5	2.0
	G	1.7	1.7	1.9	1.7

2.5.7 試験材 F-2

(1) 試験目的

高耐久性のエポキシ樹脂塗料を超厚膜型とすることで、塗装回数を削減し、施工コストを低減すると同時に高い腐食性物質遮断性の防食性に及ぼす効果を確認することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.7.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.7.1 に示す。

表-2.5.7.1 防食仕様(F-2)

暴露開始:1993 年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(μm)
超厚膜型エポキシ樹脂塗料	有機ジンクリッチペイント(20μm) 超厚膜型エポキシ樹脂(1250μm×2)	管	165.2φ×3500 ^l	2520

光沢・色差測定用試験片(F-2-1):1996 年より暴露開始

(4) 製造工程

サンドブラスト → 有機ジンクリッチペイント塗装 → 超厚膜型エポキシ樹脂塗料
→ 超厚膜型エポキシ樹脂塗料

(5) 初期データ

色調:青

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

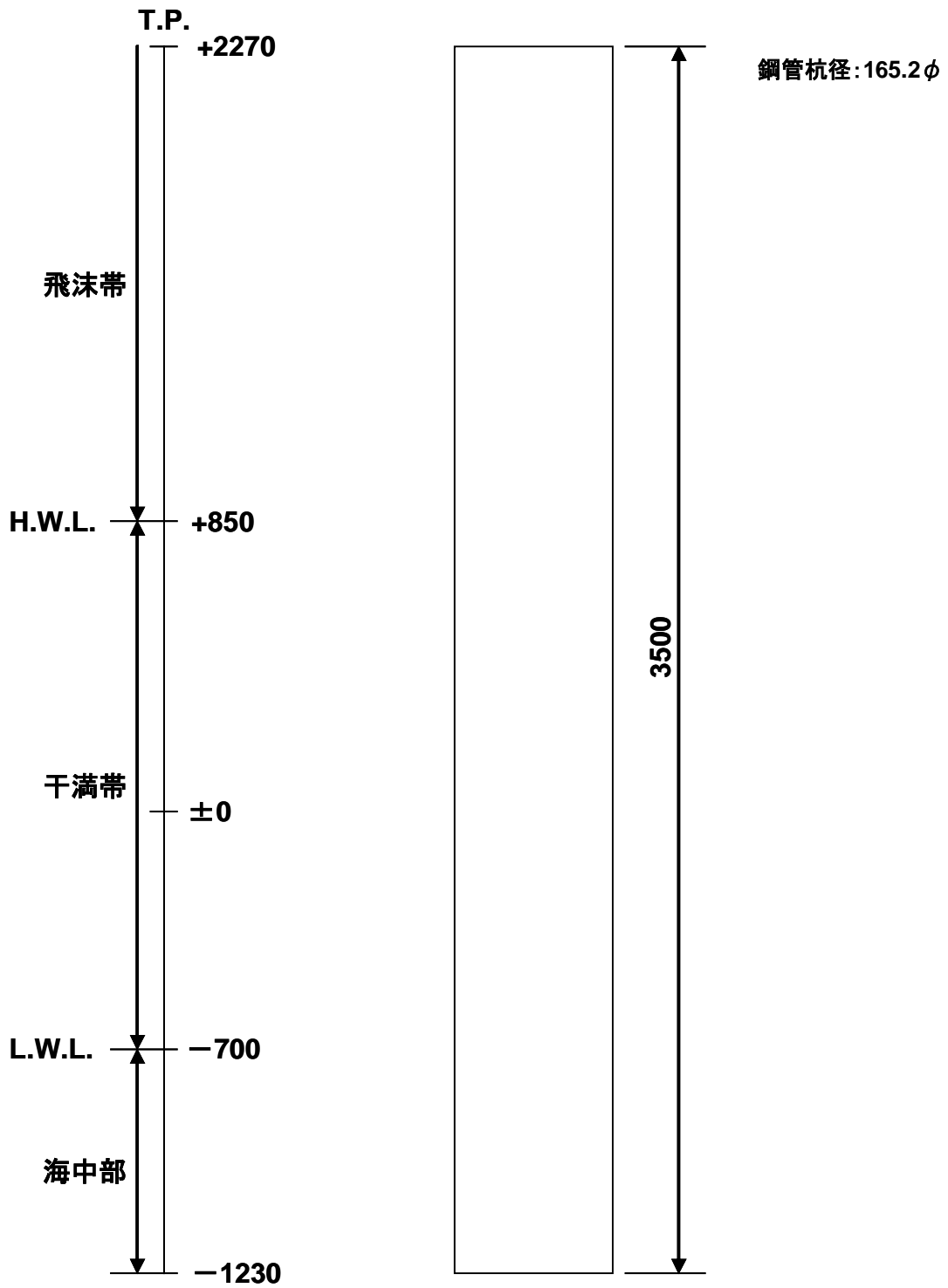


図-2.5.7.1 試験材 F-2 外觀図

2.5.8 試験材 F-4

(1) 試験目的

海洋構造物を対象とする超重防食塗装で、長期耐久性を確認することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.8.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.8.1 に示す。

表-2.5.8.1 防食仕様(F-4)

暴露開始: 1993 年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(μ m)
ポリウレタン樹脂塗料	プライマー(30 μ m) ポリウレタン(2500 μ m)	管	165.2 ϕ × 3500 ^l	2530

(4) 製造工程

素地調整 → プライマー → ポリウレタン

(5) 初期データ

なし

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

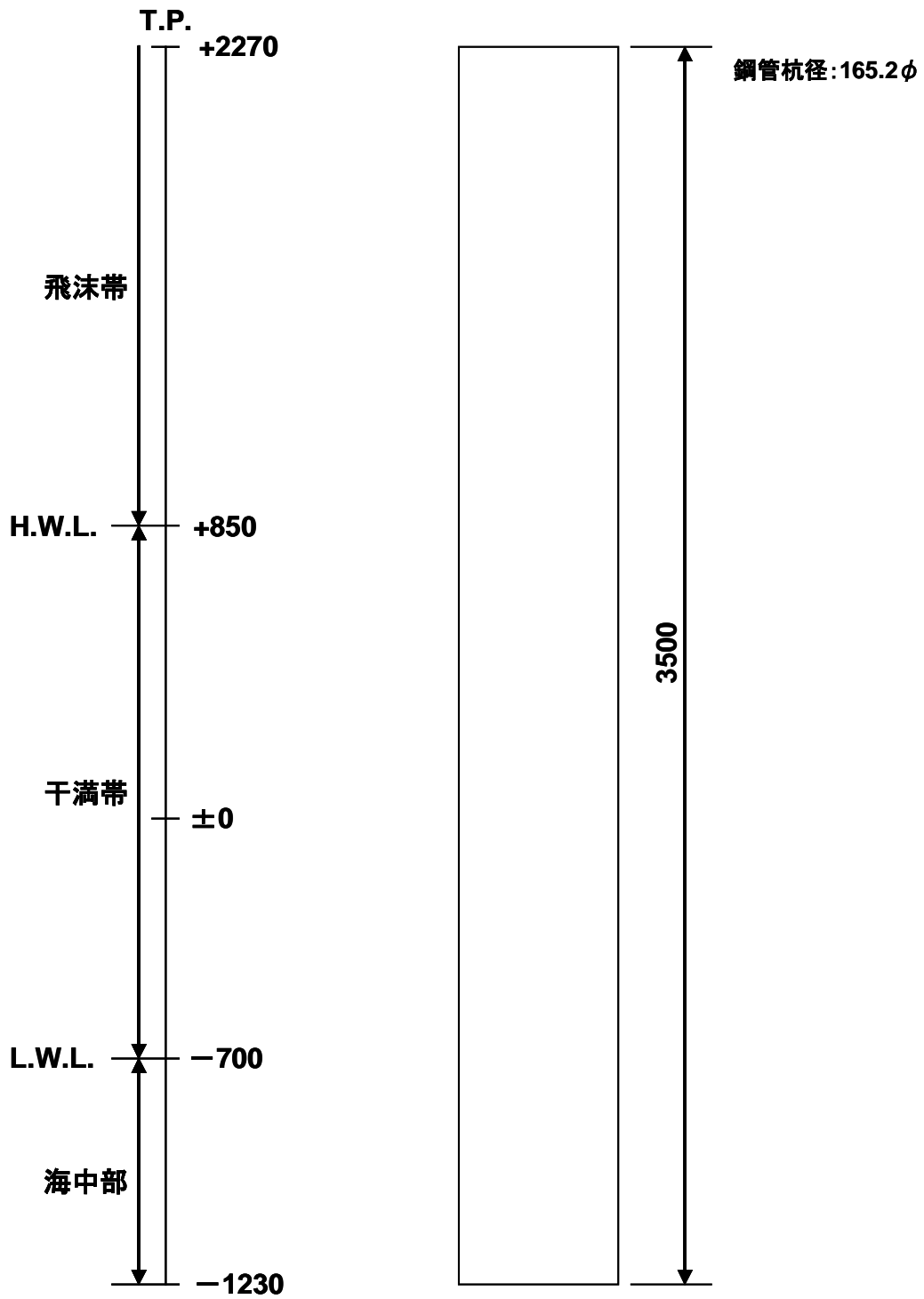


図-2.5.8.1 試験材F-4 外觀図

2.5.9 試験材 G-2

(1) 試験目的

超厚膜型ガラスフレーク入り着色ビニルエステル樹脂塗料とすることで、塗装回数を削減し、施工コストを低減すると同時にガラスフレークの積層効果による高い腐食性物質遮断性の防食性に及ぼす効果を確認することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.9.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.9.1 に示す。

表-2.5.9.1 防食仕様(G-2) 暴露開始:1993年～

防食系		防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(μm)
GF 入り着色ビニルエステル	補修部	変性エポキシ(50 μm) GF 入り着色ビニルエステル(350 μm×2)	管	150 φ × 3800 ^l × 19 ^t	750
	一般部	有機シンククリッチプライマー(20 μm) GF 入り着色ビニルエステル(350 μm×2)			720

補修部:補修塗装は、現地にて施工

(4) 製造工程

① 塗り残し部

サンドブラスト → 有機シンククリッチプライマー → 暴露4年後補修

② 補修塗装

2種ケレン(ディスクサンダー) → 変性エポキシ樹脂塗料塗装
→ ガラスフレーク入り着色ビニルエステル樹脂塗料塗装×2

③ 一般部

サンドブラスト → 有機シンククリッチプライマー
→ ガラスフレーク入り着色ビニルエステル樹脂塗料塗装×2

(5) 初期データ

色調:青

(6) 人工傷・衝撃付与

試験材上端部から500～800mmで塗り残しを作り、暴露4年後に補修塗装を実施。

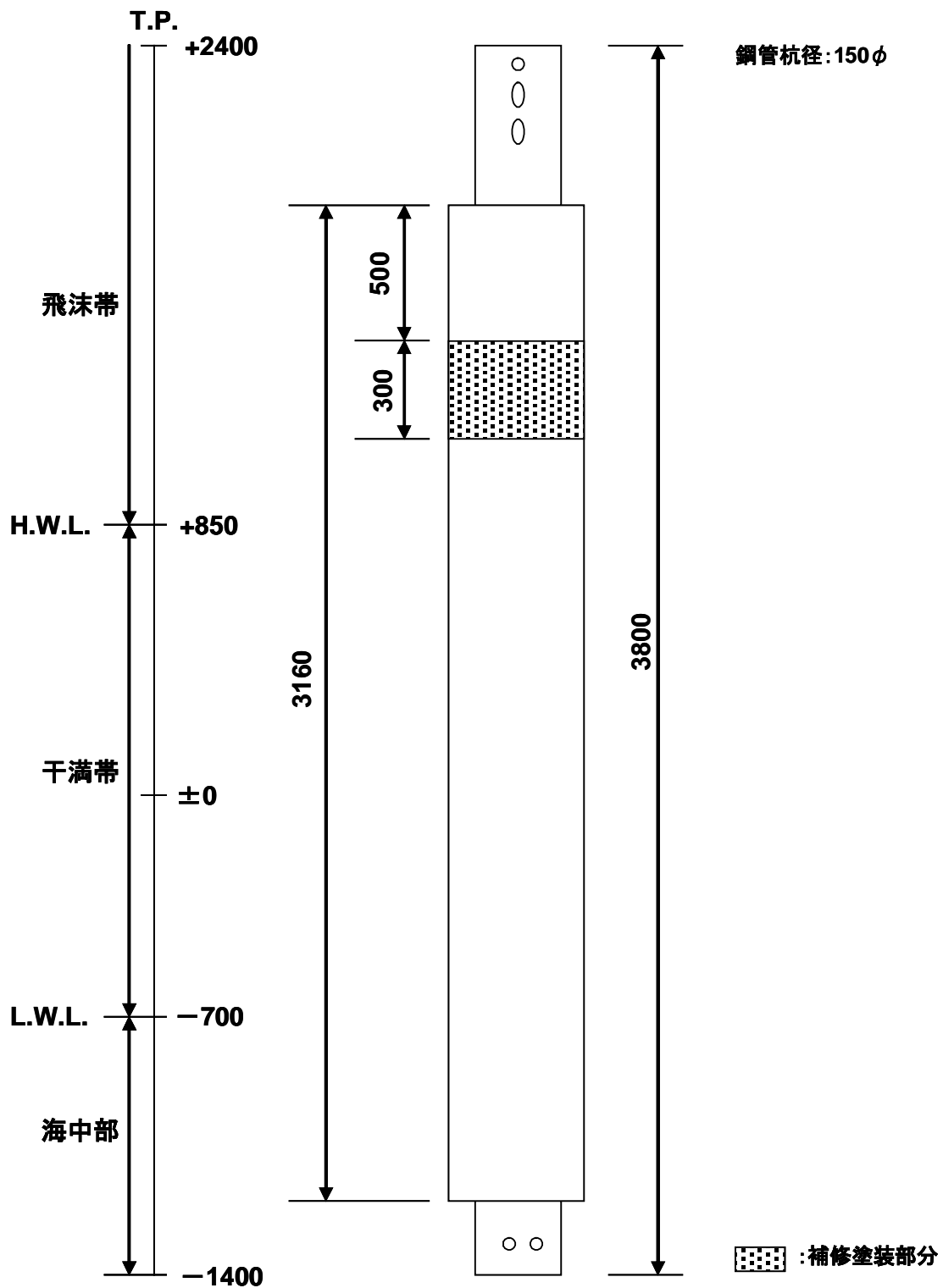


図-2.5.9.1 試験材G-2 外觀図

2.5.10 試験材 C-5

(1) 試験目的

海洋構造物を対象とする重防食塗装(超厚膜型)で、長期耐久性を確認することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.10.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.10.1 に示す。

表-2.5.10.1 防食仕様(C-5) 暴露開始:1990年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(μm)
ポリウレタン樹脂塗料	ポリウレタン系プライマー(30 μm) 着色ポリウレタン(緑 2500 μm)	管	165.2 ϕ ×3500 l	2530

(4) 製造工程

素地調整 → プライマー → ポリウレタン

(5) 初期データ

色調:緑

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

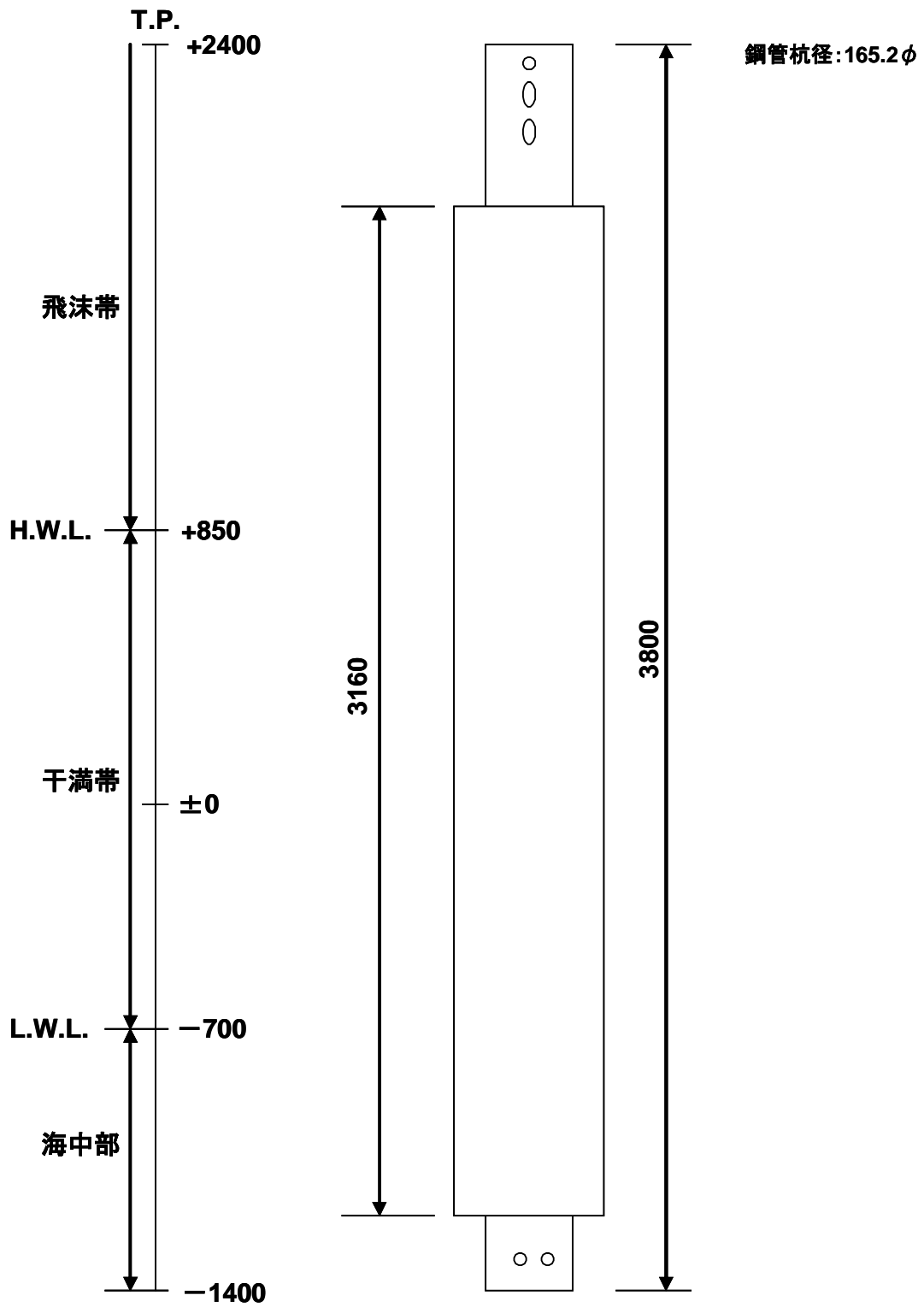


図-2.5.10.1 試験材C-5 外観図

2.5.11 試験材 C-6

(1) 試験目的

海洋構造物を対象とする重防食塗装(超厚膜型)で、長期耐久性を確認することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.5.11.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.5.11.1 に示す。

表-2.5.11.1 防食仕様(C-6) 暴露開始:1990年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(μ m)
ポリウレタン樹脂塗料	ポリウレタン系プライマー(30 μ m) 黒色ポリウレタン(2500 μ m)	管	165.2 ϕ ×3500 ^l	2530

(4) 製造工程

素地調整 → プライマー → ポリウレタン

(5) 初期データ

色調:黒

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

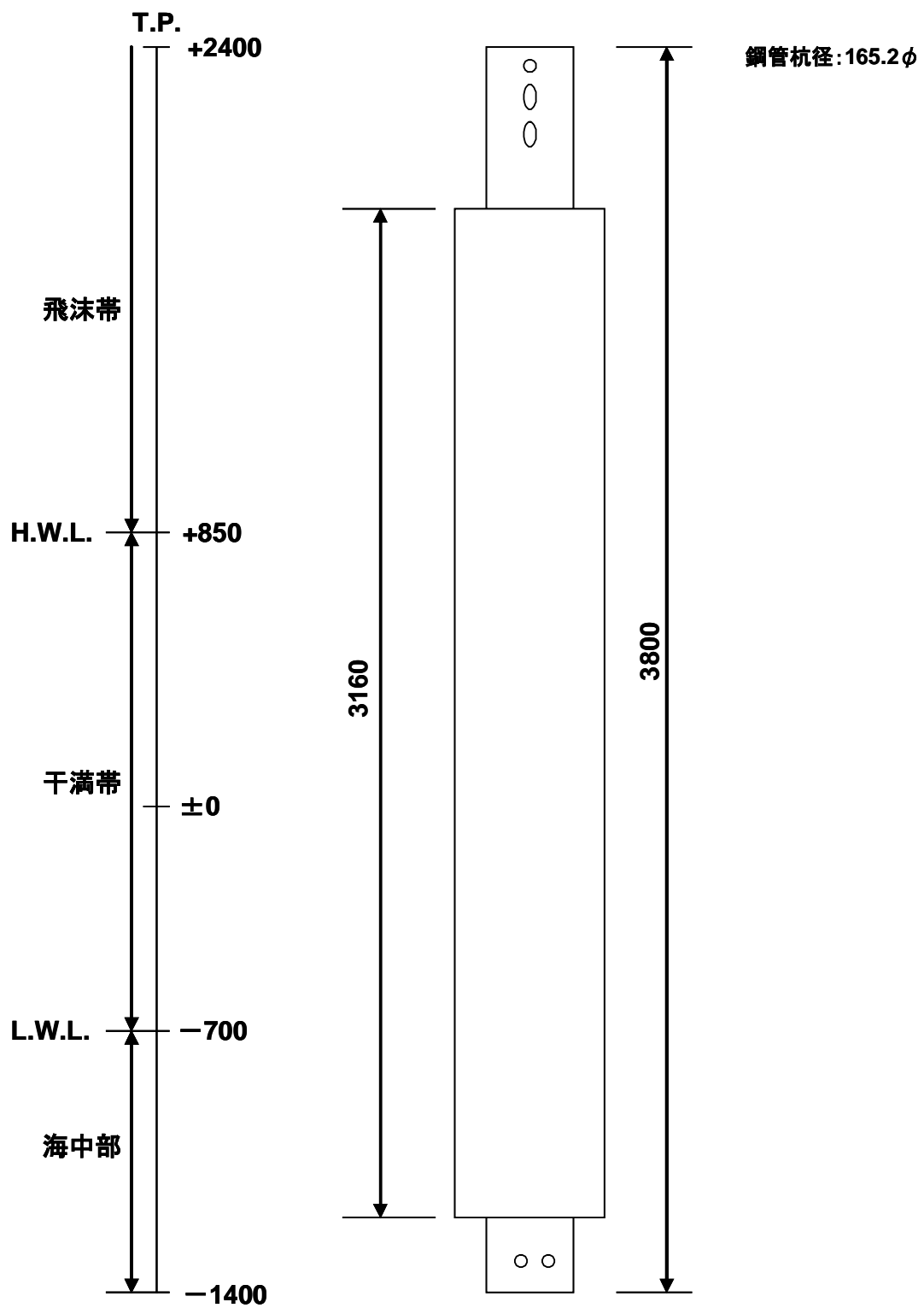


図-2.5.11.1 試験材C-6 外觀図

2.6 新規暴露試験材

各新規暴露試験材に関する諸項目を試験材別に示す。

2.6.1 試験材 N-1

(1) 試験目的

既設の海洋鋼構造物の防食を目的とし、従来から用いられているペトロラタム系防食材に変わり、ウレタン系の樹脂を防食層とし、その防食性能を評価する。また、構造物の景観を配慮し、フランジを用いない保護カバー材の固定方法を採用し、外洋環境における長期耐久性も併せて評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.1.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.1.1 に示す。

表-2.6.1.1 防食仕様(N-1) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
特殊防食樹脂 a + FRP 保護カバー	特殊防食樹脂 a(ウレタン系) (5mm) FRP 保護カバー(2mm)	管	165.2φ×3500 ^l ×6 ^t	7

補修:素管を1年間裸暴露した後、被覆を実施(補修施工:2004年)

(4) 製造工程

- ①1年間裸暴露後の素管(STK400)を素地調整(ISO St2)
- ②FRP 保護カバー内面へウレタン系防食樹脂を塗布
- ③素管へカバーを被覆・固定

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.1.2、板厚を表-2.6.1.3 および FRP 保護カバー材の強度規格値を表-2.6.1.4 に示す。

表-2.6.1.2 素管の化学成分(STK400)

元素	C	P	S
質量%	0.25 以下	0.04 以下	0.04 以下

JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管(1994)より抜粋

表-2.6.1.3 素管の板厚

測定時期 \ 測定点		海側(北)			施設内側(南)		
		+1700	+350	-1000	+1700	+350	-1000
暴露試験開始前	N-1 (mm)	6.44	6.46	6.50	6.49	6.50	6.48
防食試験開始時	N-1 (mm)	6.09	6.32	6.37	6.10	6.17	6.39

注 1)超音波厚さ計により同ポイント 5 回測定し、その平均値を測定点の板厚とした。

注 2)素管を 1 年間暴露した後、測定部位を約 30 φ mm 素地調整し、板厚測定を実施。

表-2.6.1.4 FRP 保護カバー材の強度規格値

	規格値(独自規格)	試験方法
引張り強度	78MPa 以上	JIS K 7054 ガラス繊維強化プラスチックの引張り試験方法
曲げ強度	98MPa 以上	JIS K 7017 繊維強化プラスチック-曲げ特性の求め方

(6)人工傷・衝撃付与

なし

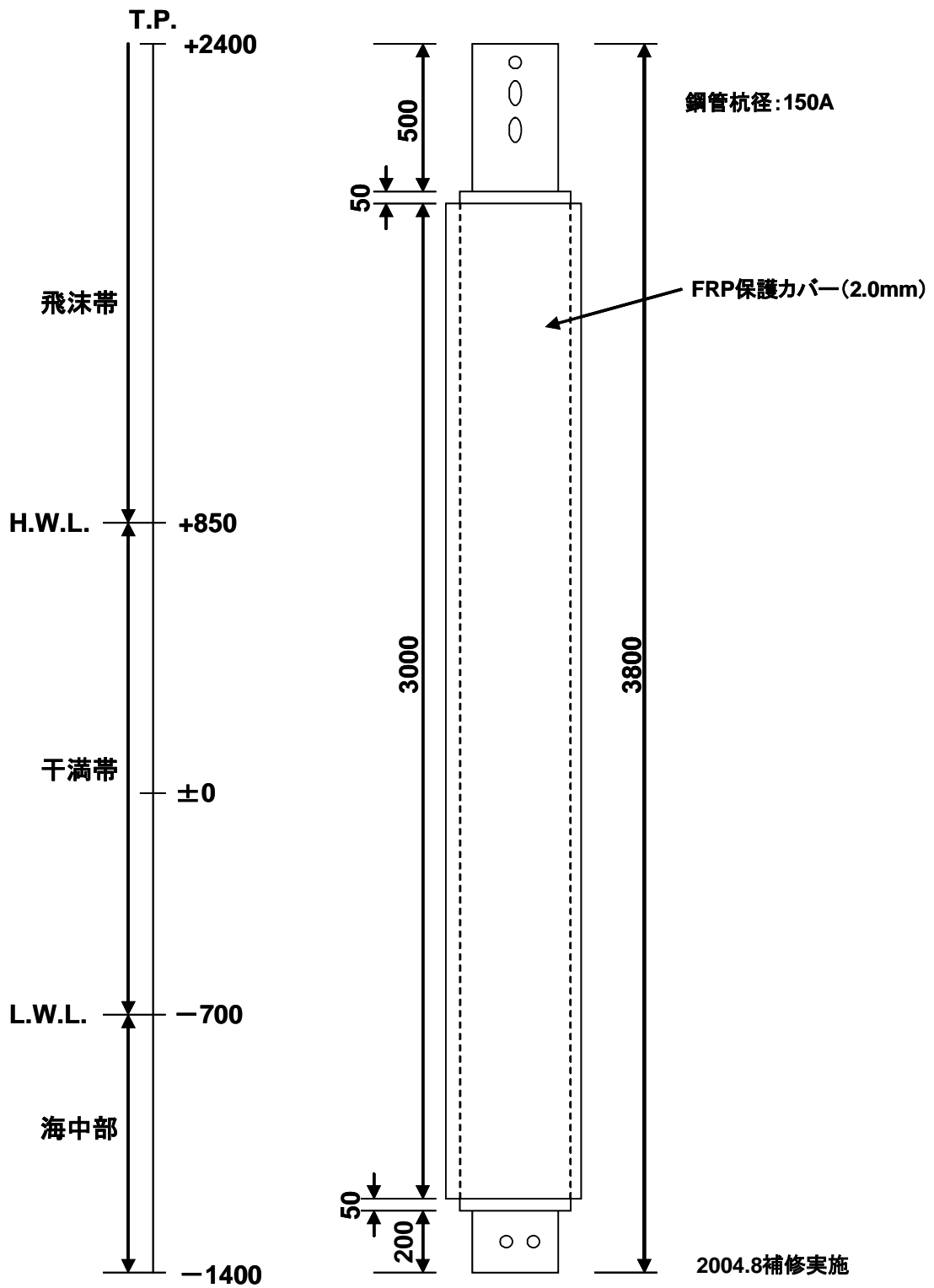


図-2.6.1.1 試験材N-1 外観図

2.6.2 試験材 N-2

(1) 試験目的

既設の海洋鋼構造物の防食を目的とし、従来から用いられているペトロラタム系防食材に変わり、シリコン系の樹脂を防食層とし、その防食性能を評価する。また、構造物の景観を配慮し、フランジを用いない保護カバー材の固定方法を採用し、外洋環境における長期耐久性も併せて評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.2.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.2.1 に示す。

表-2.6.2.1 防食仕様(N-2) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
特殊防食樹脂 b + FRP 保護カバー	特殊防食樹脂 b(シリコン系) (5mm) FRP 保護カバー(2mm)	管	165.2 φ × 3500 × 6 ^t	7

補修:素管を1年間裸暴露した後、被覆を実施(補修施工:2004年)

(4) 製造工程

- ①1年間裸暴露後の素管(STK400)を素地調整(ISO St2)
- ②FRP 保護カバー内面へシリコン系防食樹脂を塗布
- ③素管へカバーを被覆・固定

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.2.2、板厚を表-2.6.2.3 および FRP 保護カバー材の強度規格値を表-2.6.2.4 に示す。

表-2.6.2.2 素管の化学成分(STK400)

元素	C	P	S
質量%	0.25 以下	0.04 以下	0.04 以下

JIS G 3444 一般構造用炭素鋼管(1994)より抜粋

表-2.6.2.3 素管の板厚

測定点		海側(北)			施設内側(南)		
		+1700	+350	-1000	+1700	+350	-1000
測定時期	N-2(mm)	6.50	6.50	6.50	6.48	6.50	6.50
暴露試験開始前	N-2(mm)	6.50	6.50	6.50	6.48	6.50	6.50
防食試験開始時	N-2(mm)	6.10	6.39	6.20	6.10	6.43	6.25

注1)超音波厚さ計により同ポイント5回測定し、その平均値を測定点の板厚とした。

注2)素管を1年間暴露した後、測定部位を約30φmm素地調整し、板厚測定を実施。

表-2.6.2.4 FRP 保護カバー材の強度規格値

	規格値(独自規格)	試験方法
引張り強度	78MPa 以上	JIS K 7054 ガラス繊維強化プラスチックの引張り試験方法
曲げ強度	98MPa 以上	JIS K 7017 繊維強化プラスチック—曲げ特性の求め方

(6) 人工傷・衝撃付与

なし

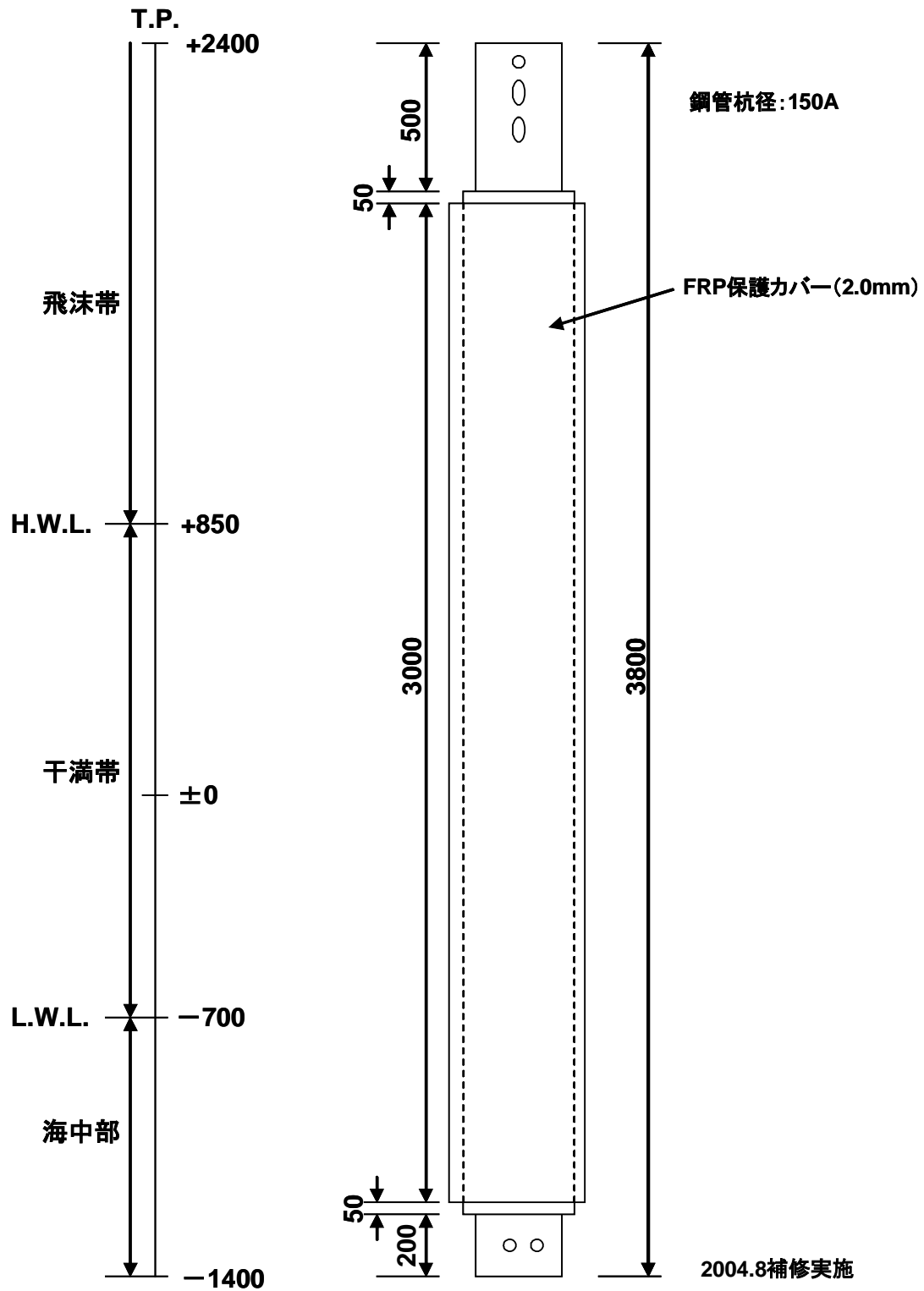


図-2.6.2.1 試験材N-2 外観図

2.6.3 試験材 N-3

(1) 試験目的

重防食被覆層の腐食因子遮断能を向上させることにより、防食寿命を延長させることを目的とする。予め人工傷を付与した上で暴露試験を行い、1年後にこの傷を現地で補修した状態で暴露試験を継続し、補修部における最終的な劣化度を調査する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.3.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.3.1に示す。

表-2.6.3.1 防食仕様(N-3) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリエチレン被覆 + タールエポキシ	特殊表面処理1 プライマー 接着性ポリエチレン ポリエチレン	管	165.2φ×3800 ¹ ×5 ¹	2.5

補修:1年間暴露した後、人工傷部(4箇所の内2箇所)の補修を実施(補修施工:2004年)

(4) 製造工程

素管(150A×5t) → 特殊表面処理1 → プライマー塗装
→ 接着性ポリエチレン+ポリエチレン被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.3.2、板厚を表-2.6.3.3 および被覆厚を表-2.6.3.4に示す。

表-2.6.3.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.05	0.02	0.22	0.012	0.003	0.023	0.03	

表-2.6.3.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
厚さ(mm)	4.72	4.70	4.69	4.61	4.80	4.70

注1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.3.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
方向	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
総被覆厚さ(mm)	3.30	3.75	3.20	3.80	3.35	3.70

・その他の測定値

①有機被覆部

密着強度(ピール強度):300N/cm(接着性ポリエチレン凝集破壊)

耐衝撃性:23J

②有機層(ポリエチレン)

密度:0.945g/cm³

引張り強さ:40MPa

伸び:930%

③色調

黒色

(6)人工傷・衝撃付与

人工傷:T.P.+1300 および T.P.+500 の位置に各 2 箇所のスクラッチ傷を付与(全 4 箇所)。

暴露 1 年後に各レベルで 1 箇所づつ傷部の補修を実施(2004 年)。

スクラッチ傷:幅 1mm×長さ 100mm

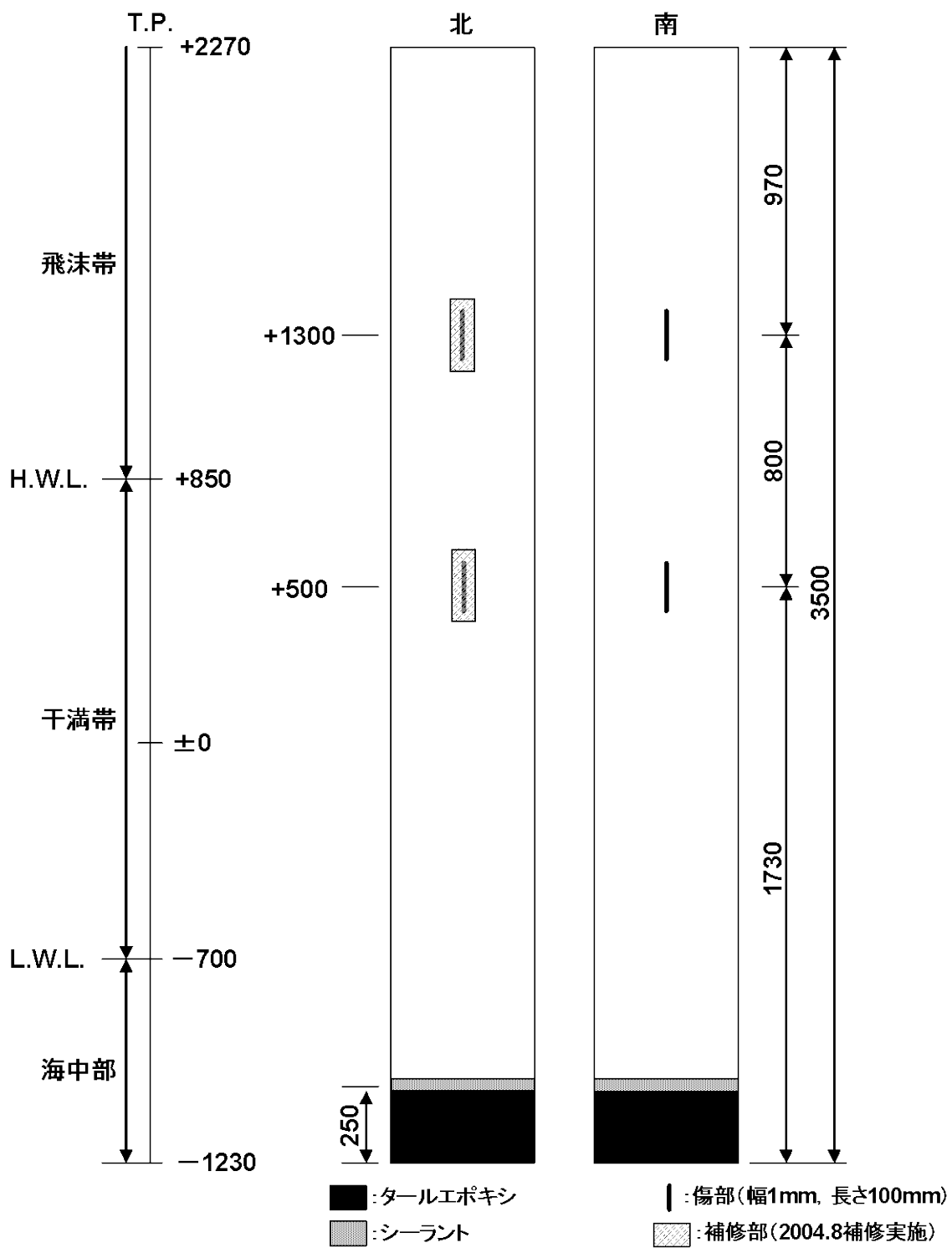


図-2.6.3.1 試験材N-3 外観図

2.6.4 試験材 N-4

(1) 試験目的

重防食被覆層の腐食因子遮断能を向上させることにより、ポリエチレン被覆鋼材の防食寿命を延長させることを目的とする。実際の使用状況に近い形として電気防食を併用した系において暴露試験を行い、耐久性向上の効果を確認する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.4.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.4.1 に示す。

表-2.6.4.1 防食仕様(N-4) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリエチレン被覆 + タールエポキシ + 電気防食	特殊表面処理1 プライマー 接着性ポリエチレン ポリエチレン アルミニウム合金陽極(150×70×40 ^φ)	管	165.2φ×3800 ^l ×5 ^t	2.5

(4) 製造工程

素管(150A×5t) → 特殊表面処理1 → プライマー塗装
→ 接着性ポリエチレン+ポリエチレン被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.4.2、板厚を表-2.6.4.3 および被覆厚を表-2.6.4.4 に示す。

表-2.6.4.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.05	0.02	0.22	0.012	0.003	0.023	0.03	

表-2.6.4.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
厚さ(mm)	4.72	4.70	4.69	4.61	4.80	4.70

注1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.4.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
方向	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
総被覆厚さ(mm)	3.30	3.75	3.35	3.75	3.40	3.80

•その他の測定値

①有機被覆部

密着強度(ピール強度):300N/cm(接着性ポリエチレン凝集破壊)

耐衝撃性:23J

②有機層(ポリエチレン)

密度:0.945g/cm³

引張り強さ:40MPa

伸び:930%

③色調

黒色

④電気防食

アルミニウム合金陽極質量:961.73g

(6)人工傷・衝撃付与

なし

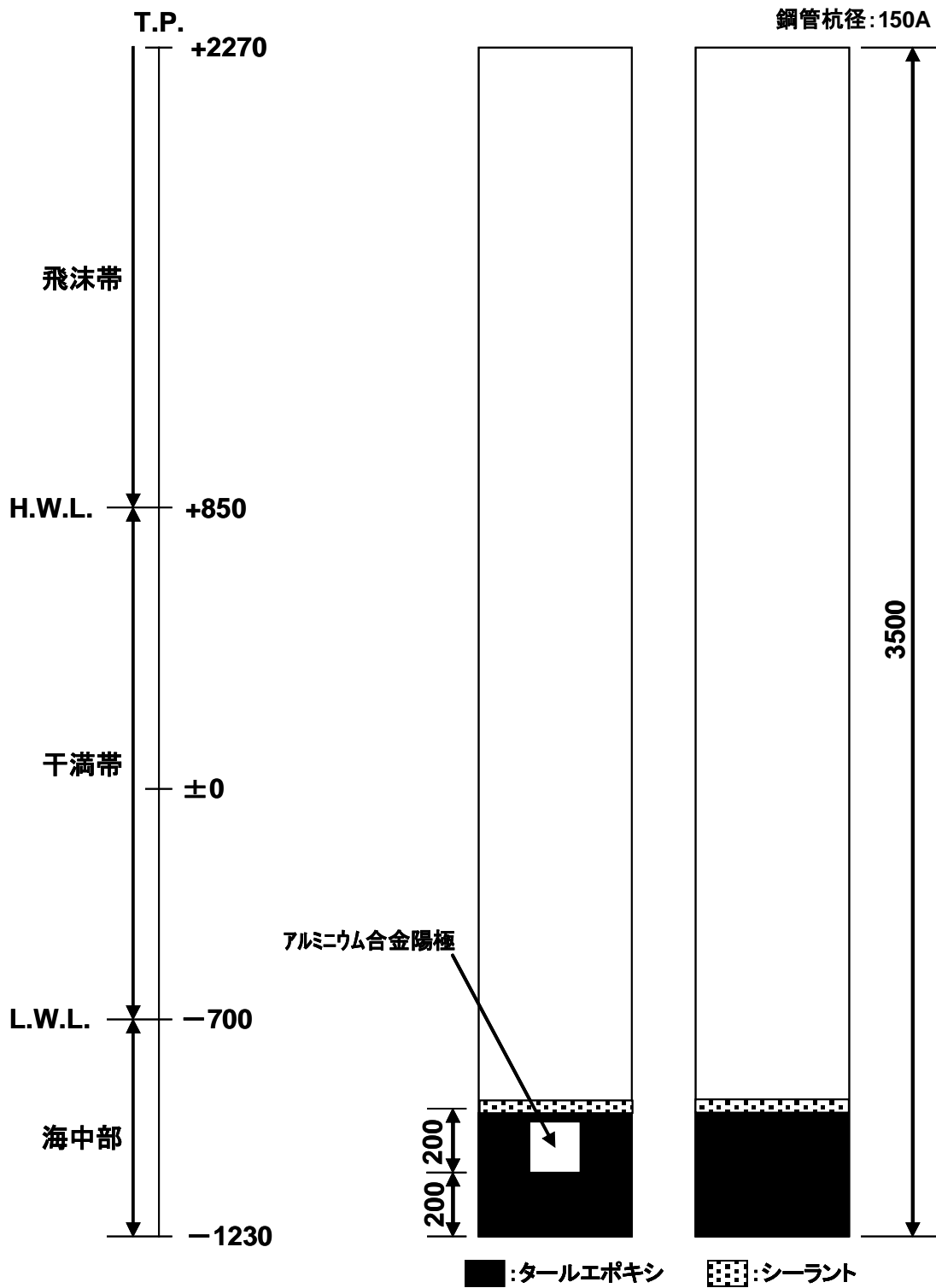


図-2.6.4.1 試験材N-4 外観図

2.6.5 試験材 N-5

(1) 試験目的

重防食被覆層の腐食因子遮断能を向上させることにより、防食寿命を延長させることを目的とする。予め人工傷を付与した上で暴露試験を行い、1年後にこの傷を現地で補修した状態で暴露試験を継続し、補修部における最終的な劣化度を調査する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.5.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.5.1に示す。

表-2.6.5.1 防食仕様(N-5) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリエチレン被覆 + タールエポキシ	特殊表面処理2 プライマー 接着性ポリエチレン ポリエチレン	管	165.2φ×3800 ¹ ×5 ¹	2.5

補修:1年間暴露した後、人工傷部(4箇所の内2箇所)の補修を実施(補修施工:2004年)

(4) 製造工程

素管(150A×5t) → 特殊表面処理2 → プライマー塗装
→ 接着性ポリエチレン+ポリエチレン被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.5.2、板厚を表-2.6.5.3および被覆厚を表-2.6.5.4に示す。

表-2.6.5.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.05	0.02	0.22	0.012	0.003	0.023	0.03	

表-2.6.5.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
厚さ(mm)	4.72	4.70	4.69	4.61	4.80	4.70

注1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.5.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
総被覆厚さ(mm)	3.45	3.85	3.45	3.65	3.50	3.70

・その他の測定値

①有機被覆部

密着強度(ピール強度):300N/cm(接着性ポリエチレン凝集破壊)

耐衝撃性:23J

②有機層(ポリエチレン)

密度:0.945g/cm³

引張り強さ:40MPa

伸び:930%

③色調

黒色

(6)人工傷・衝撃付与

人工傷:T.P.+1300 および T.P.+500 の位置に各 2 箇所のスラッチ傷を付与(全 4 箇所)。

暴露 1 年後に各レベルで 1 箇所づつ傷部の補修を実施(2004 年)。

スラッチ傷:幅 1mm×長さ 100mm

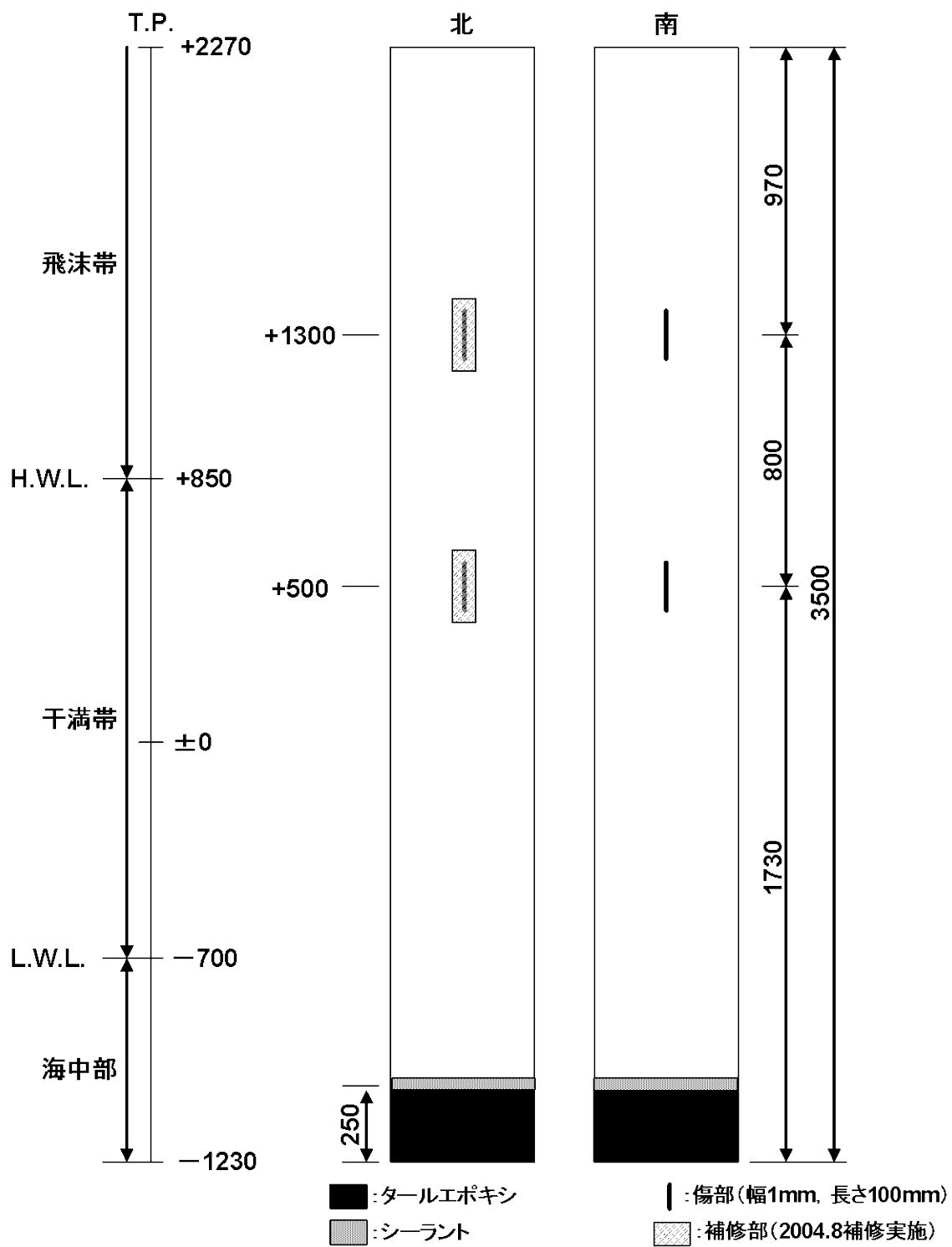


図-2.6.5.1 試験材N-5 外観図

2.6.6 試験材 N-6

(1) 試験目的

重防食被覆層の腐食因子遮断能を向上させることにより、ポリエチレン被覆鋼材の防食寿命を延長させること、および初期コストの低減と製造時の作業性向上を図ることを目的とする。実際の使用状況に近い形として電気防食を併用した系において暴露試験を行い、耐久性向上の効果を確認する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.6.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.6.1 に示す。

表-2.6.6.1 防食仕様(N-6) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリエチレン被覆 + タールエポキシ + 電気防食	特殊表面処理2 プライマー 接着性ポリエチレン ポリエチレン アルミニウム合金陽極(150×70×40 ¹)	管	165.2φ×3800 ¹ ×5 ¹	2.5

(4) 製造工程

素管(150A×5t) → 特殊表面処理2 → プライマー塗装
→ 接着性ポリエチレン+ポリエチレン被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.6.2、板厚を表-2.6.6.3 および被覆厚を表-2.6.6.4 に示す。

表-2.6.6.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.05	0.02	0.22	0.012	0.003	0.023	0.03	

表-2.6.6.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
厚さ(mm)	4.72	4.70	4.69	4.61	4.80	4.70

注1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.6.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
方向	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
総被覆厚さ(mm)	3.45	3.70	3.40	3.65	3.50	3.70

・その他の測定値

①有機被覆部

密着強度(ピール強度):300N/cm(接着性ポリエチレン凝集破壊)

耐衝撃性:23J

②有機層(ポリエチレン)

密度:0.945g/cm³

引張り強さ:40MPa

伸び:930%

③色調

黒色

④電気防食

アルミニウム合金陽極質量:955.08g

(6)人工傷・衝撃付与

なし

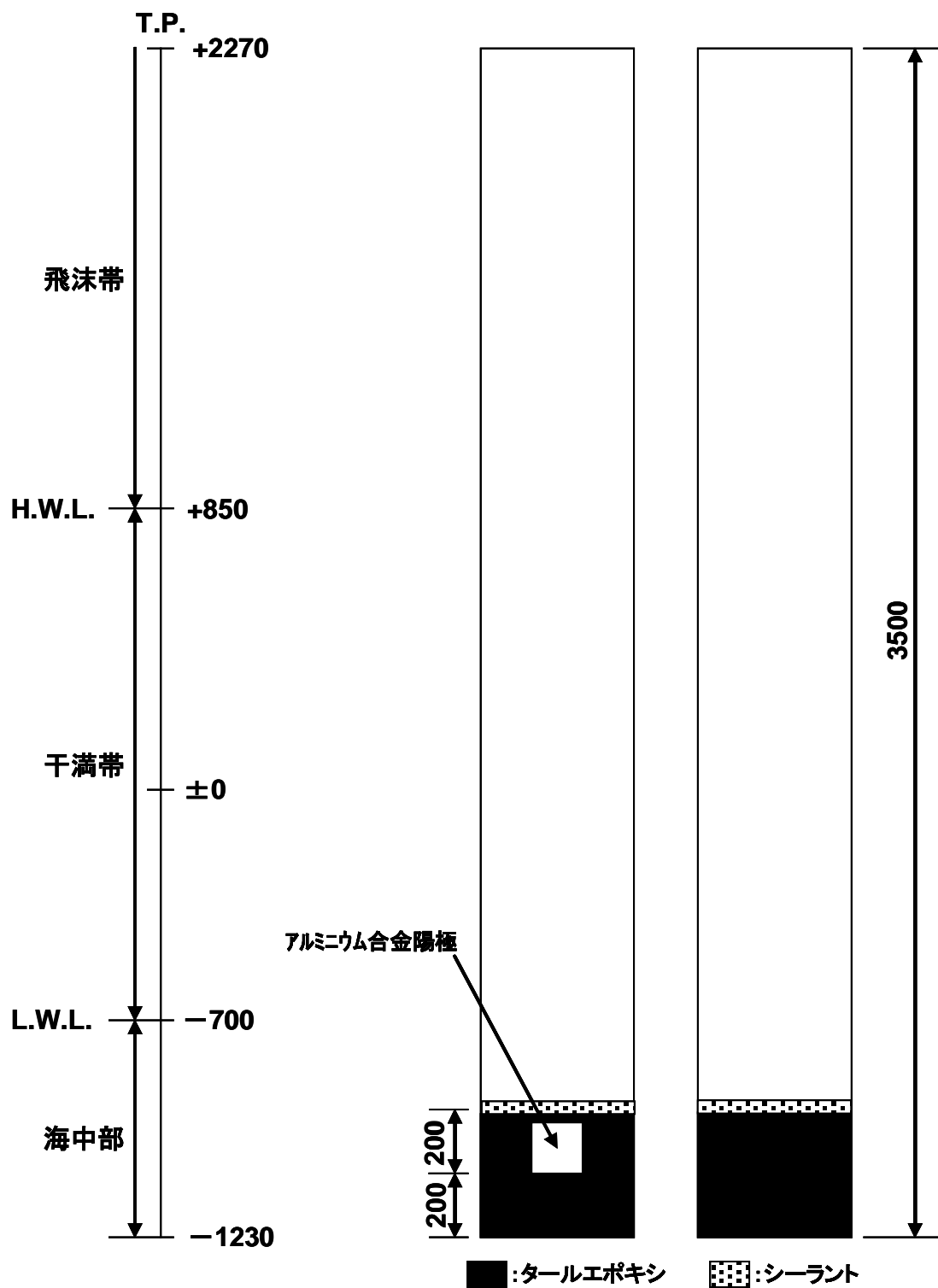


図-2.6.6.1 試験材N-6 外観図

2.6.7 試験材 N-7

(1) 試験目的

海洋環境での長期耐久性を有し、かつ衝撃や傷にも強い高耐食性ステンレスを被覆し、海中部では電気防食を併用する。また、海上大気部は超厚膜型エポキシ塗装を行い、長期にわたってメンテナンスの少ない防食を目指す。

本試験材では、電気防食との組み合わせ+海上大気部における塗装部との組み合わせを評価し、総合的な防食性能を検討することを目的とする。併せて補修部の耐久性についても検討する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.7.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.7.1 に示す。

表-2.6.7.1 防食仕様(N-7) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
超厚膜型エポキシ + 高耐食性ステンレスシートライニング + 電気防食	20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N アルミニウム合金陽極(200×100×30 ^μ)	管	165.2φ×3500 ^l ×11 ^t	SUS部:0.4

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×11t) → 高耐食性ステンレス被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.7.2、高耐食性ステンレスの化学成分を表-2.6.7.3、素管板厚を表-2.6.7.4、被覆厚を表-2.6.7.5 および衝撃付与部のピンホール測定結果を表-2.6.7.6 に示す。

表-2.6.7.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.08	0.01	0.36	0.014	0.004	—	—	Cu:0.14,Ti:0.029

表-2.6.7.3 高耐食性ステンレスの化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	その他
質量%	0.014	0.54	0.58	0.020	0.000	19.77	18.08	6.11	Cu:0.72,N:0.198

表-2.6.7.4 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
厚さ(mm)	10.4	10.2	10.4	10.3	10.5	10.2

注 1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.7.5 被覆材の厚さ

	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)	施設側(西)	海側(東)
高耐食性 SUS(mm)	—	—	0.4	0.4	—	—
下塗り(μm)	25	25	—	—	—	—
上塗り(μm)	2630	3420	—	—	—	—

表-2.6.7.6 衝撃付与部のピンホール測定

測定位置		被覆	膜厚(μm)	衝撃試験(3kg・m)
海側(東)	T.P.+1620	SUS 上の塗膜	3420	ピンホールなし

注 1)衝撃試験:ASTM G14 準拠、ピンホール検査 17.5kV

・その他の測定値

電気防食

アルミニウム合金陽極型名:AB-6S(200×100×30mm)

アルミニウム合金陽極質量:2948.92g

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:施設側(西) T.P.+1620

形状:幅 3mm×長さ 100mm

②衝撃付与部

位置:海側(東) T.P.+1620

形状:円形(衝撃値:3kg・m)

③パッチ当て補修部(暴露前に補修実施)

位置:施設側(西) T.P.+500

形状:75mm 角+20φmm 穴

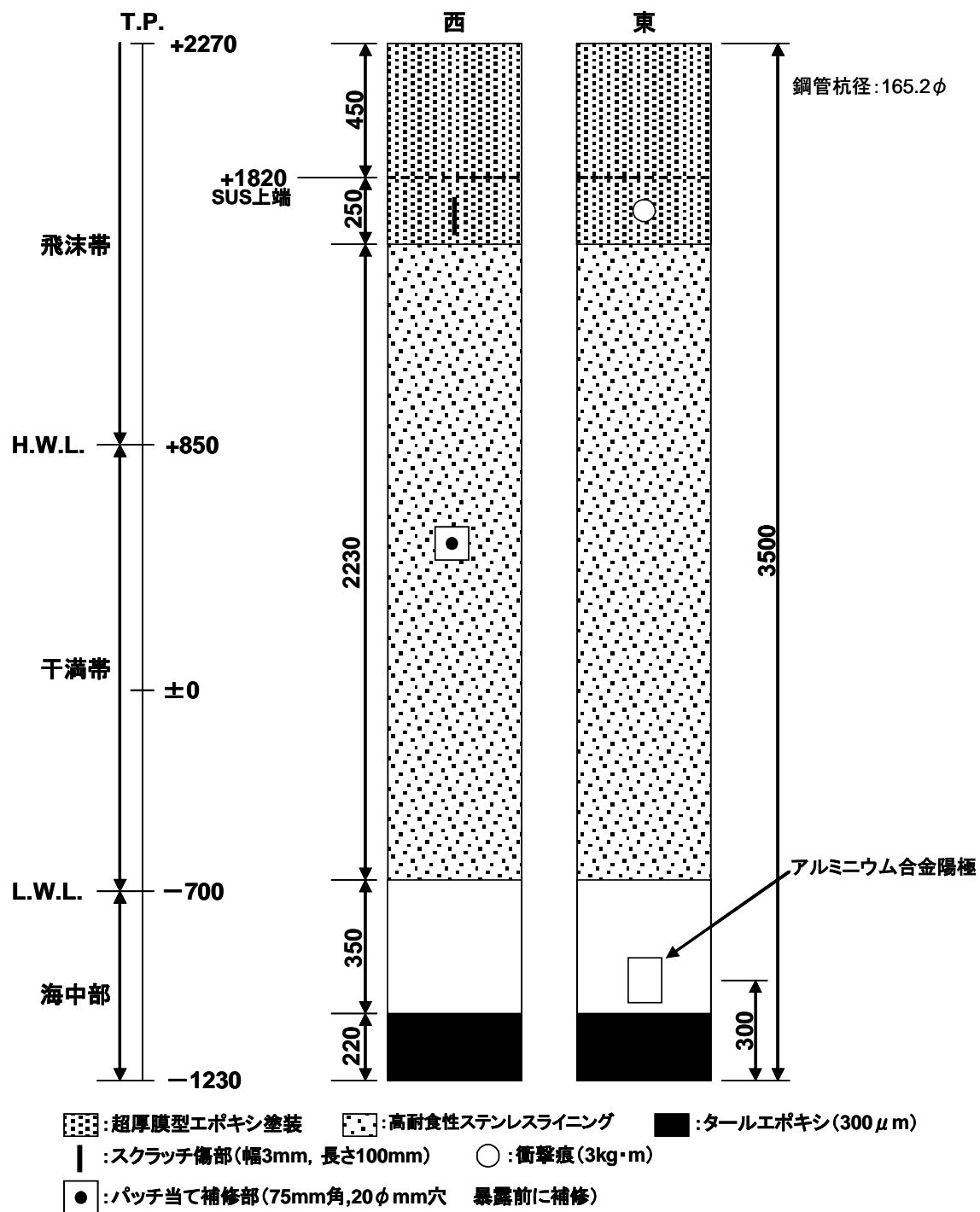


図-2.6.7.1 試験材N-7 外観図

2.6.8 試験材 N-8

(1) 試験目的

海洋鋼構造物において、腐食条件の厳しい飛沫・干満帯部では耐海水性の高耐食性ステンレス鋼板を溶接で被覆するとともに海中部では電気防食を施した防食工法の耐久性を検証することを目的とする。耐久性に関しては、主に高耐食性ステンレス材の材料としての耐久性および溶接部の耐久性を検証する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.8.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.8.1 に示す。

表-2.6.8.1 防食仕様(N-8) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ウタン塗装 + 高耐食性ステンレス鋼被覆 + 電気防食	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N 電気防食 ¹⁾	管	165.2φ×3500×5 ¹⁾	SUS部:0.8

1)電気防食:試験材を電気防食されている試験施設本体へケーブルで接続

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×5t) → 高耐食性ステンレス鋼被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.8.2、板厚を表-2.6.8.3 および被覆厚を表-2.6.8.4 に示す。

表-2.6.8.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
質量%	0.067	0.17	0.35	0.012	0.002	0.03	0.03	0.027

表-2.6.8.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		下部(T.P.-1000)	
	位置1	位置2	位置1	位置2
厚さ(mm)	4.80	4.80	4.80	4.80

注1)超音波厚さ計により測定。

注2)位置1は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向90°位置。

位置2は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向90°位置。

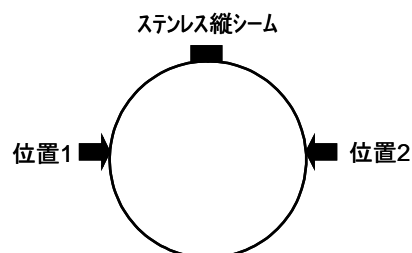


表-2.6.8.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+1870)		下部(T.P.-830)	
	位置1	位置2	位置1	位置2
ステンレス被覆(mm)	0.83	0.82	0.82	0.82

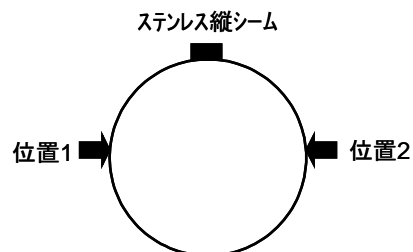
注1)マイクロメーターにて測定。

注2)位置1は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向90°位置。

位置2は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向90°位置。



・その他の測定値

①金属被覆部

外観観察により、溶接欠陥なし

②上部厚膜塗装

ウレタン塗装(手塗り):膜厚 3000~4000 μm

③下部タールエポキシ塗装

タールエポキシ塗装(手塗り):膜厚 800~1000 μm

(6)人工傷・衝撃付与

なし

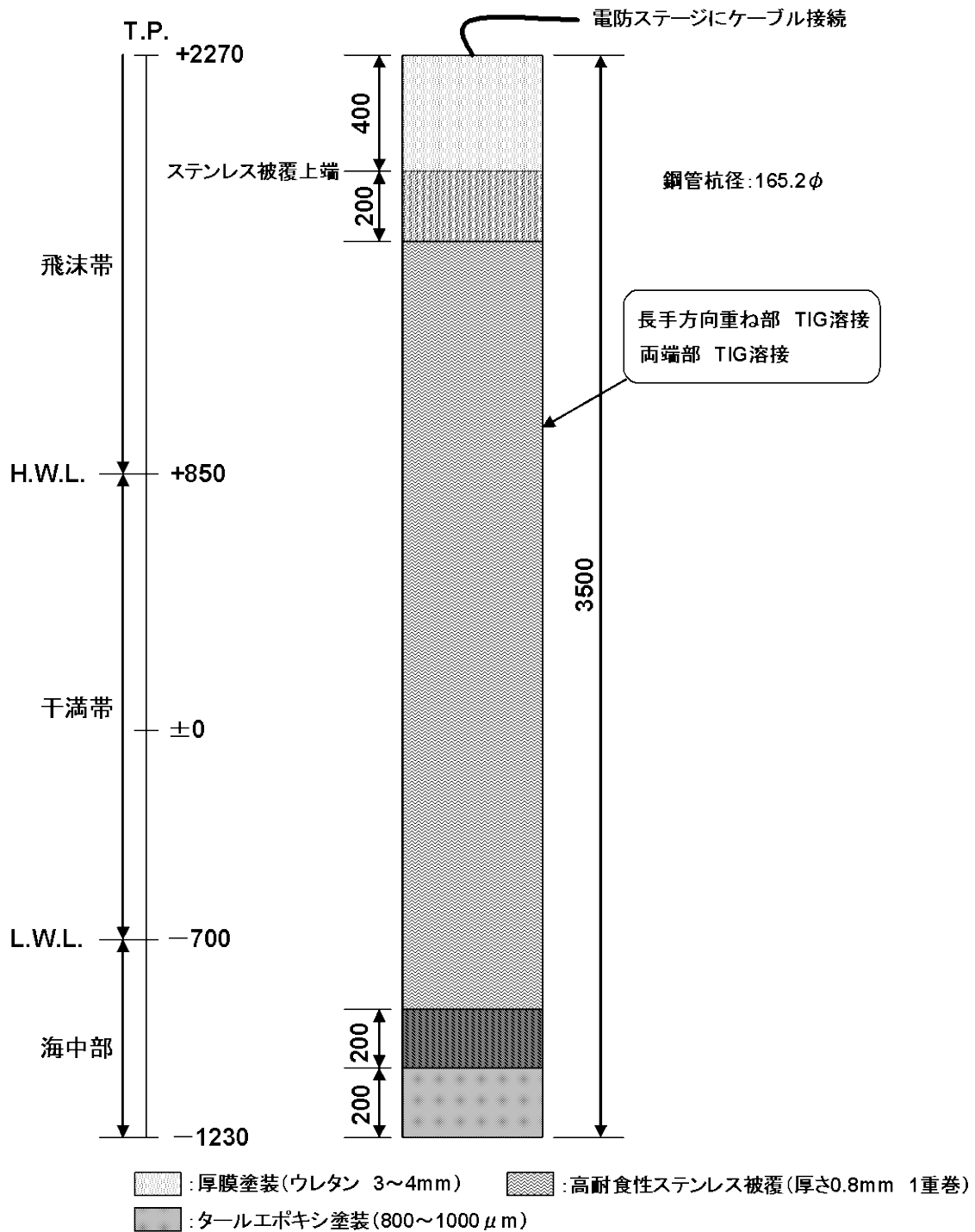


図-2.6.8.1 試験材N-8 外観図

2.6.9 試験材 N-9

(1) 試験目的

本試験材は、試験材 N-8 と同じ防食仕様であるが、高耐食性ステンレス鋼被覆に人工傷を付与することで亀裂が発生した場合の腐食の進展状況を検証することを目的とする。

主に、亀裂部の腐食の進展状況(補修部も同時に検証)と亀裂部から被覆内部に浸入する海水による鋼材の腐食進展状況を検証する(亀裂部は、H.W.L.より上位の位置に付与)。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.9.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.9.1 に示す。

表-2.6.9.1 防食仕様(N-9) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ウルタン塗装 + 高耐食性ステンレス鋼被覆 + 電気防食	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N 電気防食 ¹⁾	管	165.2φ×3500 ^l ×5 ^t	SUS部:0.8

1)電気防食:試験材を電気防食されている試験施設本体へケーブルで接続

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×5t) → 高耐食性ステンレス鋼被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.9.2、板厚を表-2.6.9.3 および被覆厚を表-2.6.9.4 に示す。

表-2.6.9.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
質量%	0.059	0.17	0.35	0.012	0.002	0.03	0.02	0.026

表-2.6.9.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1350)		下部(T.P.-1000)	
方向	位置 1	位置 2	位置 1	位置 2	位置 1	位置 2
厚さ(mm)	4.70	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80

注 1)超音波厚さ計により測定。

注 2)位置 1 は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向 90° 位置。

位置 2 は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向 90° 位置。

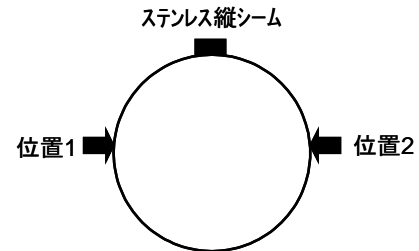


表-2.6.9.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+1870)		下部(T.P.-830)	
方向	位置 1	位置 2	位置 1	位置 2
ステンレス被覆(mm)	0.82	0.82	0.82	0.83

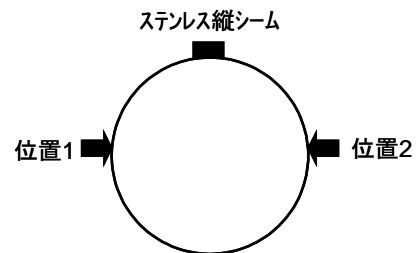
注 1)マイクロメーターにて測定。

注 2)位置 1 は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向 90° 位置。

位置 2 は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向 90° 位置。



・その他の測定値

①金属被覆部

外観観察により、溶接欠陥なし

②上部厚膜塗装

ウレタン塗装(手塗り):膜厚 3000~4000 μm

③下部タールエポキシ塗装

タールエポキシ塗装(手塗り):膜厚 800~1000 μm

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:海側(東) T.P.+1350

形状:幅 1mm×長さ 100mm

②パッチ当て補修部(暴露前に補修実施)

位置:施設側(西) T.P.+1350

形状:150×100mm(全周 TIG 溶接)

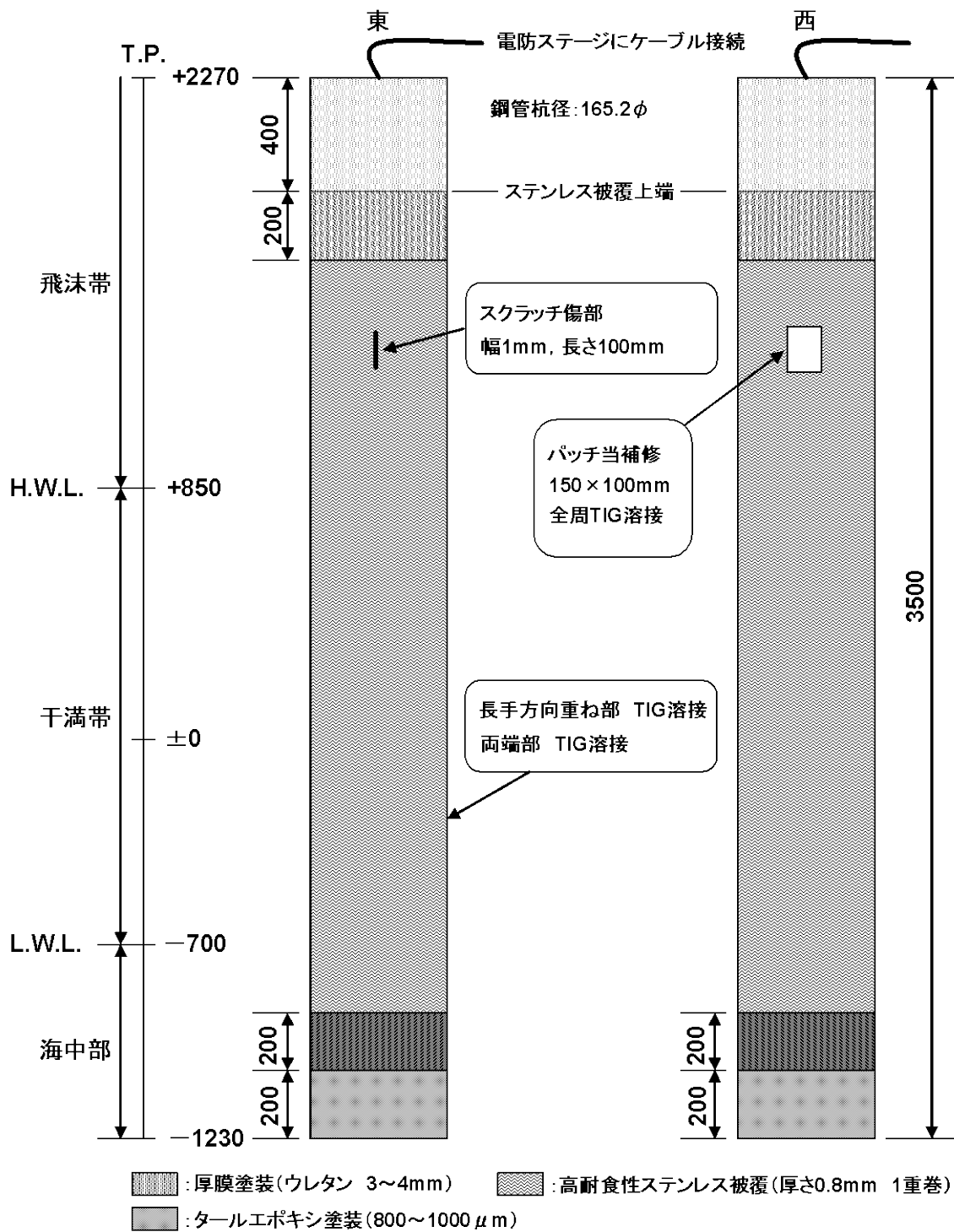


図-2.6.9.1 試験材N-9 外観図

2.6.10 試験材 N-10

(1) 試験目的

本試験材は、試験材 N-8 と同じ防食仕様であるが、高耐食性ステンレス鋼被覆に人工傷を付与することで亀裂が発生した場合の腐食の進展状況を検証することを目的とする。

主に、亀裂部の腐食の進展状況（補修部も同時に検証）と亀裂部から被覆内部に浸入する海水による鋼材の腐食進展状況を検証する（亀裂部は、H.W.L.より下位の位置に付与）。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.10.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.10.1 に示す。

表-2.6.10.1 防食仕様(N-10) 暴露開始:2003 年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ウタン塗装 + 高耐食性ステンレス鋼被覆 + 電気防食	25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N 電気防食 ¹⁾	管	165.2φ×3500 ^l ×5 ^t	SUS 部:0.8

1)電気防食:試験材を電気防食されている試験施設本体へケーブルで接続

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×5t) → 高耐食性ステンレス鋼被覆

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.10.2、板厚を表-2.6.10.3 および被覆厚を表-2.6.10.4 に示す。

表-2.6.10.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
質量%	0.058	0.17	0.35	0.012	0.002	0.03	0.02	0.026

表-2.6.10.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.±0)		下部(T.P.-1000)	
	位置1	位置2	位置1	位置2	位置1	位置2
厚さ(mm)	4.70	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80

注1)超音波厚さ計により測定。

注2)位置1は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向90°位置。

位置2は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向90°位置。

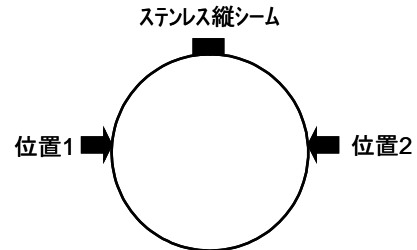


表-2.6.10.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+1870)		下部(T.P.-830)	
	位置1	位置2	位置1	位置2
ステンレス被覆(mm)	0.84	0.84	0.83	0.83

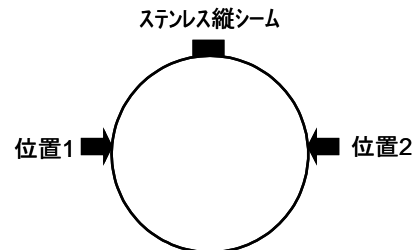
注1)マイクロメーターにて測定

注2)位置1は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から反時計方向90°位置。

位置2は、試験材の上面から見てステンレス被覆の縦シーム

位置から時計方向90°位置。



・その他の測定値

①金属被覆部

外観観察により、溶接欠陥なし

②上部厚膜塗装

ウレタン塗装(手塗り):膜厚 3000~4000 μm

③下部タールエポキシ塗装

タールエポキシ塗装(手塗り):膜厚 800~1000 μm

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:海側(南) T.P.±0

形状:幅 1mm×長さ 100mm

②パッチ当て補修部(暴露前に補修実施)

位置:施設側(北) T.P.±0

形状:150×100mm(全周 TIG 溶接)

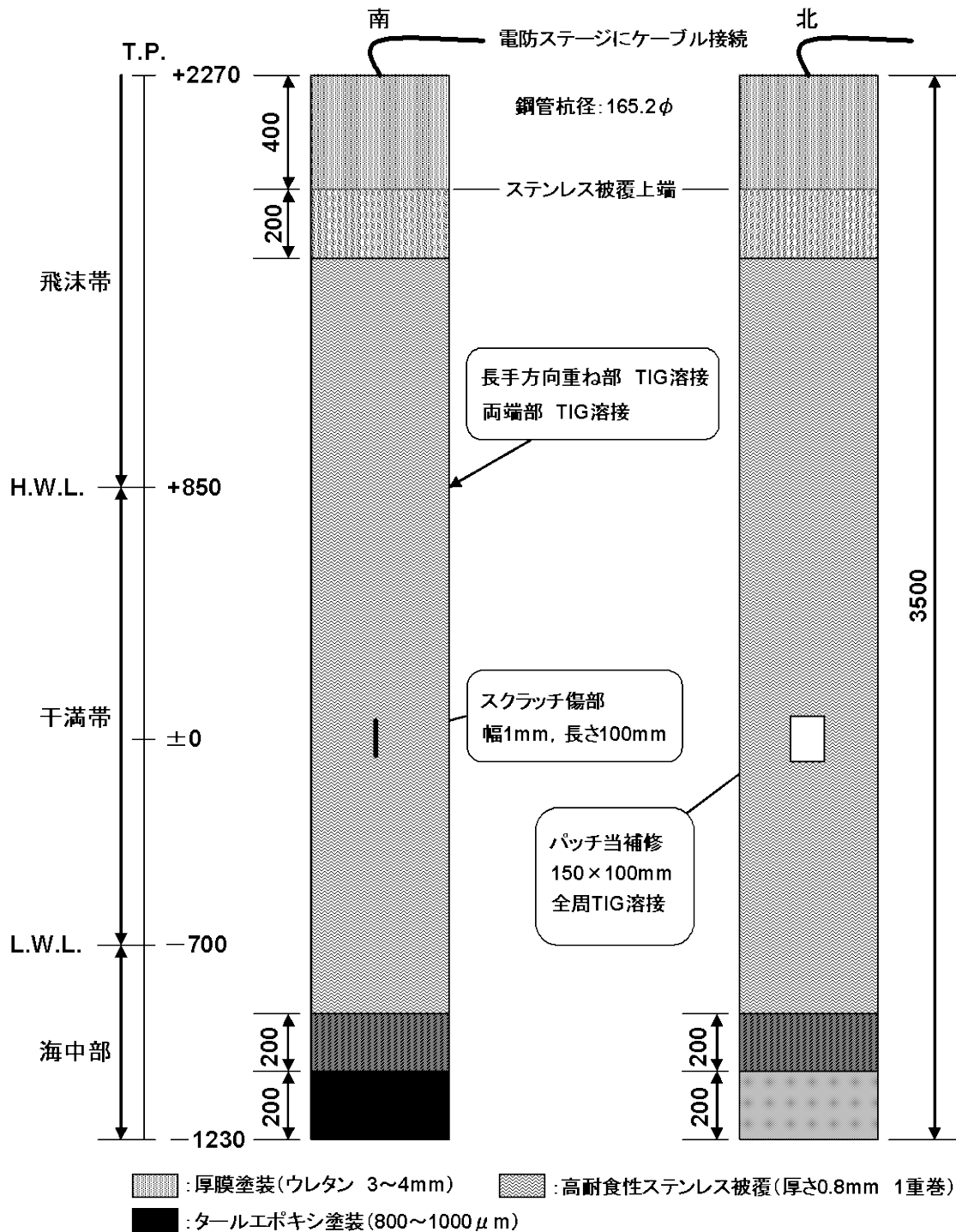


図-2.6.10.1 試験材N-10 外観図

2.6.11 試験材 N-11

(1) 試験目的

飛沫帯および干満帯部に高耐食性ステンレス鋼を直接鋼管杭に溶接被覆し、海中部を電気防食とすることで海洋環境における長期耐久性を評価することを目的とする。また、干満帯部については流木等に対する耐衝撃性も評価する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.11.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.11.1 に示す。

表-2.6.11.1 防食仕様(N-11) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
高耐食性ステンスライニング + 電気防食	NAS254N(23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N) アルミニウム合金陽極(150×150×30°)	管	165.2φ×3500'×4.6'	SUS部:1.4

(4) 製造工程

素管(165φ×4.6t) → サンドブラスト → 高耐食性ステンレス被覆溶接

高耐食性ステンレス溶接:TIG溶接(溶加棒 NASY354N 23Cr-35Ni-7.5Mo-0.2N)

人工すきま部:PE熱収縮チューブにて付与

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.11.2、高耐食性ステンレスの化学成分を表-2.6.11.3、素管板厚を表-2.6.11.4 および被覆厚を表-2.6.11.5 に示す。

表-2.6.11.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.08	0.02	0.38	0.021	0.005	—	—	Al:0.025

表-2.6.11.3 高耐食性ステンレスの化学成分

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N	その他
質量%	0.008	0.12	0.19	23.39	24.15	5.46	0.11	0.216	—

表-2.6.11.4 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.±0)		下部(T.P.-1000)	
方向	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
厚さ(mm)	4.67	4.68	4.67	4.68	4.67	4.68	4.67	4.68

注 1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.11.5 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.±0)	
方向	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
高耐食性 SUS(mm)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47

・その他の測定

①金属被覆部

腐食すきま再不動態化電位測定(母材):JIS G 0592 に準拠

鋼種	E_{R-CREV} (V vs SCE)	判定
NAS254N	0.833	すきま腐食発生せず

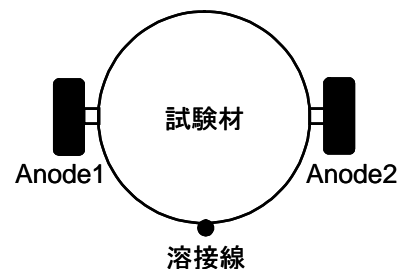
溶接部のカラーチェック:TIG 溶接部において全線溶接欠陥なし

②電気防食

アルミニウム合金陽極型名:AB-7HS(150×150×30tmm)

アルミニウム合金陽極質量(初期)

鋼種	Anode1	Anode2
NAS254N	1.649kg	1.674kg



(6)人工傷・衝撃付与

①人工すきま

PE 熱収縮チューブにて付与

位置:T.P.+1240 および T.P.+240

形状:幅 50mm

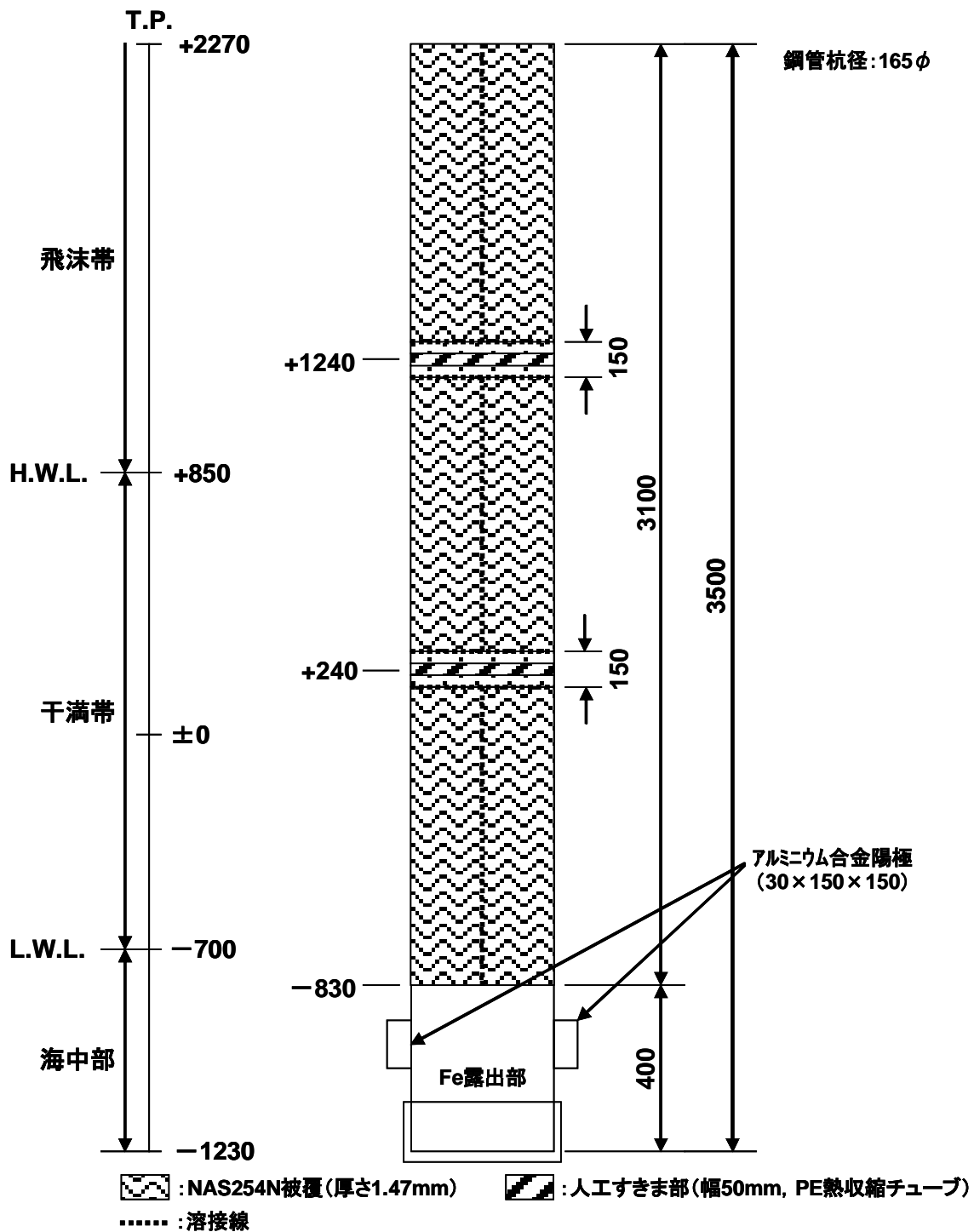


図-2.6.11.1 試験材N-11 外観図

2.6.12 試験材 N-12

(1) 試験目的

飛沫帯および干満帯部に高耐食性ステンレス鋼を直接鋼管杭に溶接被覆し、海中部を電気防食とすることで海洋環境における長期耐久性を評価することを目的とする。また、干満帯部については流木等に対する耐衝撃性も評価する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.12.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.12.1 に示す。

表-2.6.12.1 防食仕様(N-12) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
高耐食性ステンレスライニング + 電気防食	NAS185N(20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N) アルミニウム合金陽極(150×150×30°)	管	165.2φ×3500'×4.6'	SUS部:1.5

(4) 製造工程

素管(165φ×4.6t) → サンドブラスト → 高耐食性ステンレス被覆溶接

高耐食性ステンレス溶接:TIG溶接(溶加棒 NASY354N 23Cr-35Ni-7.5Mo-0.2N)

人工すきま部:PE熱収縮チューブにて付与

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.12.2、高耐食性ステンレスの化学成分を表-2.6.12.3、素管板厚を表-2.6.12.4 および被覆厚を表-2.6.12.5 に示す。

表-2.6.12.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.08	0.02	0.38	0.021	0.005	—	—	Al:0.025

表-2.6.12.3 高耐食性ステンレスの化学成分

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N	その他
質量%	0.007	0.39	0.31	20.33	17.96	6.31	0.81	0.200	—

表-2.6.12.4 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.±0)		下部(T.P.-1000)	
方向	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
厚さ(mm)	4.64	4.66	4.64	4.66	4.64	4.66	4.64	4.66

注 1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.12.5 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.±0)	
方向	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
高耐食性 SUS(mm)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

・その他の測定

①金属被覆部

腐食すきま再不動態化電位測定(母材):JIS G 0592 に準拠

鋼種	E_{R-CREV} (V vs SCE)	判定
NAS185N	0.833	すきま腐食発生せず

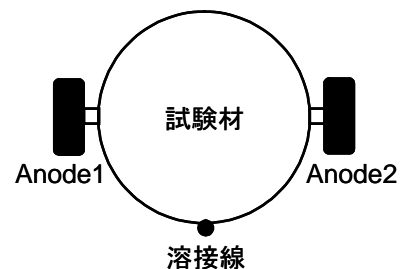
溶接部のカラーチェック:TIG 溶接部において全線溶接欠陥なし

②電気防食

アルミニウム合金陽極型名:AB-7HS(150×150×30tmm)

アルミニウム合金陽極質量(初期)

鋼種	Anode1	Anode2
NAS185N	1.657kg	1.665kg



(6)人工傷・衝撃付与

①人工すきま

PE 熱収縮チューブにて付与

位置:T.P.+1240 および T.P.+240

形状:幅 50mm

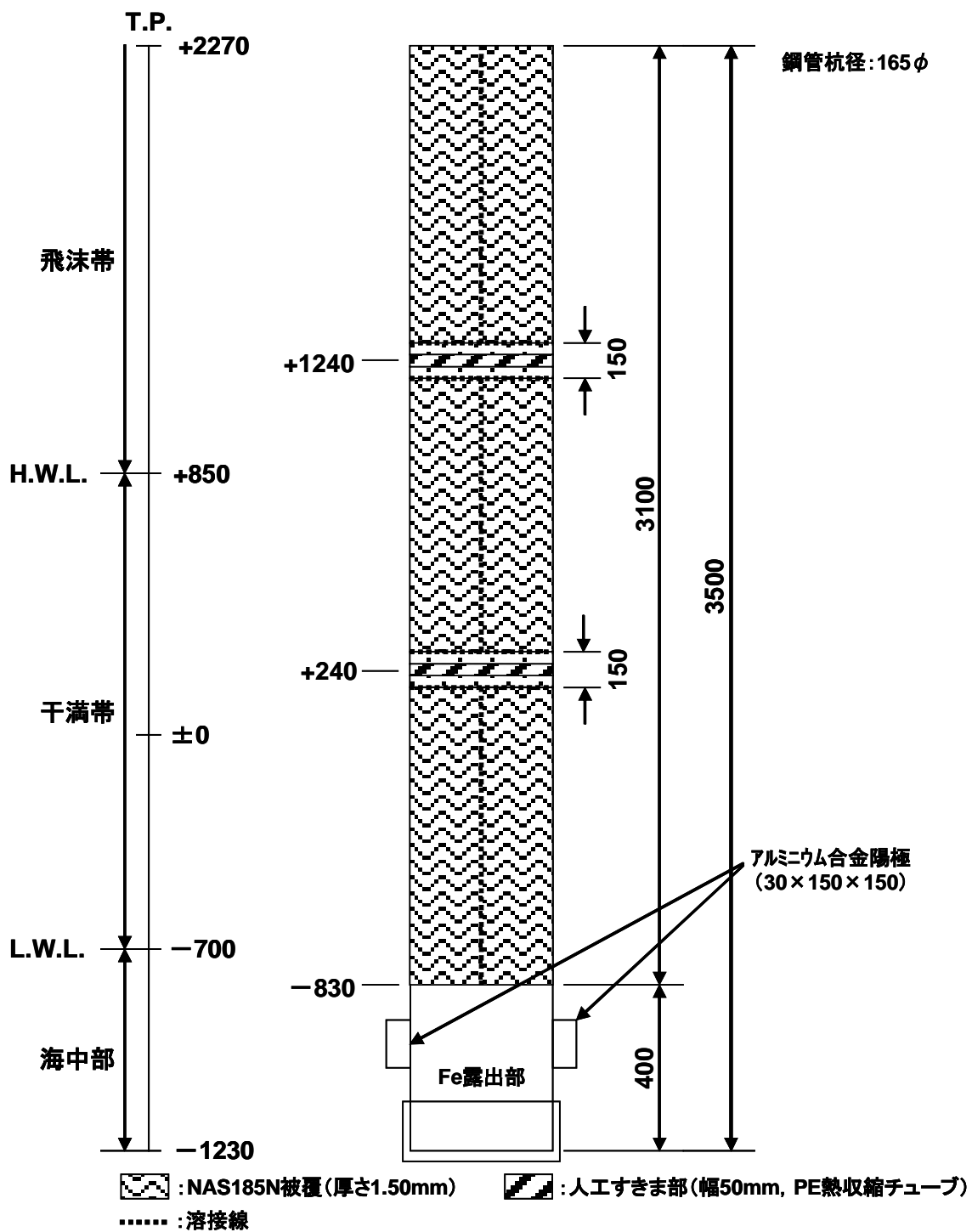


図-2.6.12.1 試験材N-12 外観図

2.6.13 試験材 N-13

(1) 試験目的

裸使用および電気防食なしで耐海水性を有するとして開発されたステンレス鋼について、実環境(海洋環境)での長期暴露を行い、性能を評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.13.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.13.1 に示す。

表-2.6.13.1 防食仕様(N-13) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
高耐食性ステンレス	25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N	L形	100×100×19 ¹ ×3800 ¹	19

(4) 製造工程

アングル組立(溶接) → 固溶化熱処理 → 矯正 → サンドブラスト

(5) 初期データ

高耐食性ステンレスの化学成分を表-2.6.13.2、板厚を表-2.6.13.3 に示す。

表-2.6.13.2 高耐食性ステンレス鋼の化学成分

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	N
質量%	0.009	0.30	0.56	25.04	23.30	4.57	1.48	0.21

表-2.6.13.3 高耐食性ステンレス鋼の板厚(元厚)

測定レベル	T.P.+2300	T.P.+2000	T.P.+1500	T.P.+1000	T.P.+500	T.P.±0	T.P.-500	T.P.-1000	T.P.-1300
取付側(mm)	19.784	19.867	19.891	19.794	19.832	19.994	20.011	19.988	19.968
垂直部(mm)	19.921	20.074	20.068	20.032	19.989	20.060	19.929	19.935	—

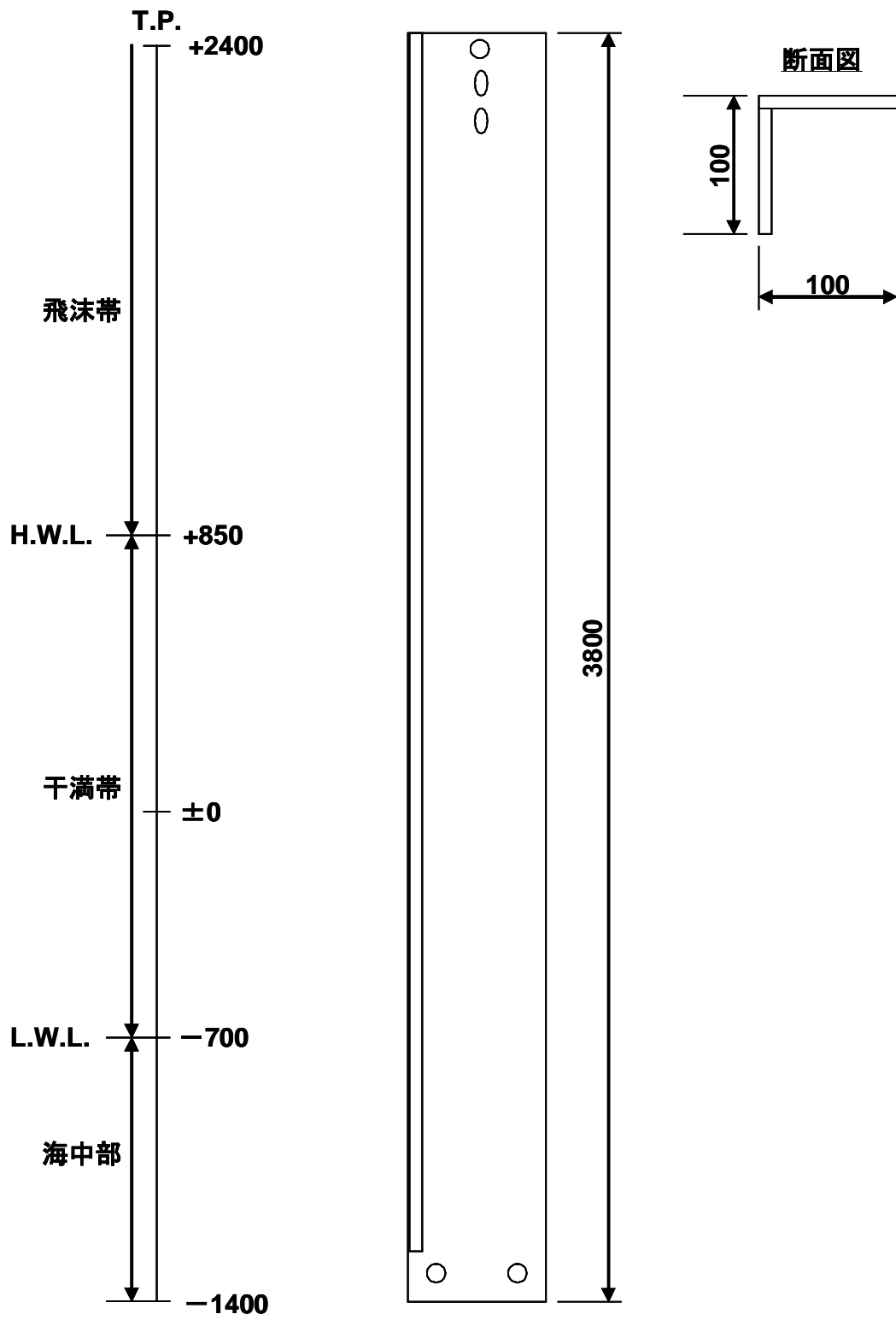


图-2.6.13.1 試驗材N-13 外觀圖

2.6.14 試験材 N-14

(1) 試験目的

重防食(ウレタン樹脂)上に金属被覆(チタン)を施すことで、下記の性能を向上させ、重防食の寿命を延ばすことを目的とする。

- ①耐候性向上: 金属被覆にて重防食に対する劣化因子を遮断する。
- ②衝撃性向上: 金属被覆にて流木などの突発的な衝撃による傷を防止する。

試験材には、衝撃痕(ASTM G14)とスクラッチ傷を付与し、仮に衝撃や傷が形成されても金属被覆を施すことによる耐久性向上の効果を検証する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.14.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.14.1に示す。

表-2.6.14.1 防食仕様(N-14) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリウレタン被覆 + チタン薄板被覆 + 電気防食	ポリウレタン被覆(2.7mm) 接着層(3.5mm) Ti(0.4mm) アルミニウム合金陽極(200×100×30 ^φ)	管	165.2φ×3500 ^l ×11 ^t	6.6

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×11t) → サンドブラスト → ウレタン塗装 → チタン薄板接着

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.14.2、素管の板厚および被覆厚を表-2.6.14.3、絶縁抵抗を表-2.6.14.4、チタンの化学成分を表-2.6.14.5、塗膜の交流インピーダンスを表-2.6.14.6、塗膜硬度を表-2.6.14.7 および衝撃試験結果を表-2.6.14.8に示す。

表-2.6.14.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.15	0.21	0.42	0.024	0.008	—	—	—

表-2.6.14.3 素管の板厚(元厚)および被覆厚

測定位置		鋼管板厚 (mm)	ウレタン膜厚 (mm)	接着層膜厚 (mm)	チタン厚 (mm)	全被覆膜厚 (mm)
施設側 (北)	T.P.+1500	10.50	3.0	2.9	0.4	6.3
	T.P.+1000	10.32	2.8	2.8	0.4	6.0
	T.P.-500	10.42	2.8	3.6	0.4	6.8
	T.P.-1000	10.72	—	—	—	—
海側 (南)	T.P.+1500	10.92	2.2	3.5	0.4	6.1
	T.P.+1000	11.18	2.6	2.8	0.4	5.8
	T.P.-500	11.67	2.8	5.3	0.4	8.5
	T.P.-1000	11.12	—	—	—	—

注 1)素管の板厚は、超音波厚さ計により測定。

注 2)被覆厚は、電磁膜厚計により測定。

表-2.6.14.4 絶縁抵抗

測定位置		被覆	膜厚	絶縁抵抗(Ω)	
				1分値	2分値
施設側 (北)	T.P.+1670	ウレタン被覆	3.2mm	1.2×10^{12}	1.45×10^{12}
	T.P.-1120	タールエポキシ	568 μ m	9.0×10^8	1.1×10^9
海側 (南)	T.P.+1670	ウレタン被覆	3.3mm	1.5×10^{12}	1.5×10^{12}
	T.P.-1120	タールエポキシ	741 μ m	2.1×10^8	3.2×10^8

表-2.6.14.5 チタンの化学成分

元素	H	O	N	Fe	C	Ti
質量%	0.001	0.04	0.01	0.03	0.01	BAL.

注 1)チタン:JIS 1種(ミルシート成分値%)

表-2.6.14.6 塗膜の交流インピーダンス

測定位置		被覆	塗膜厚さ	周波数(Hz)	R値(Ω)	$\tan \delta$
施設側(北)	T.P.+1670	ウレタン被覆	3.2mm	200	5.88×10^8	0.11
				500	2.94×10^8	0.09
				1000	1.82×10^8	0.08
	T.P.-1120	タールエポキシ	568 μ m	200	1.54×10^7	0.15
				500	7.87×10^6	0.13
				1000	4.61×10^6	0.12
海側(南)	T.P.+1670	ウレタン被覆	3.3mm	200	5.00×10^8	0.02
				500	2.00×10^8	0.02
				1000	5.88×10^7	0.02
	T.P.-1120	タールエポキシ	741 μ m	200	1.32×10^7	0.24
				500	7.52×10^6	0.19
				1000	4.76×10^6	0.16

表-2.6.14.7 塗膜硬度

測定位置		被覆	ショア D	鉛筆硬度
施設側(北)	T.P.+1670	ウレタン被覆	53	—
	T.P.-1120	タールエポキシ	—	HB
海側(南)	T.P.+1670	ウレタン被覆	53	—
	T.P.-1120	タールエポキシ	—	HB

表-2.6.14.8 衝撃試験

測定位置		被覆	全膜厚	衝撃試験(5kg・m)
海側(南)	T.P.+1300	チタン被覆	6.0mm	チタンに亀裂なし
	T.P.+1800	ウレタン被覆	4.4mm	ピンホール有り

注1)衝撃試験:ASTM G14 準拠、ピンホール検査 17.5kV

・その他の測定

①電気防食

アルミニウム合金陽極型名:AB-3S(200×100×30mm)

アルミニウム合金陽極質量(初期):1472.95g

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:施設側(北) T.P.+1800 および T.P.+1300

形状:幅 3mm×長さ 100mm

②衝撃付与部

位置:海側(南) T.P.+1800 および T.P.+1300

形状:円形(衝撃値:5kg・m)

③パッチ当て補修部(暴露前に補修実施)

位置:施設側(北) T.P.+500

形状:75mm 角+20φ mm 穴

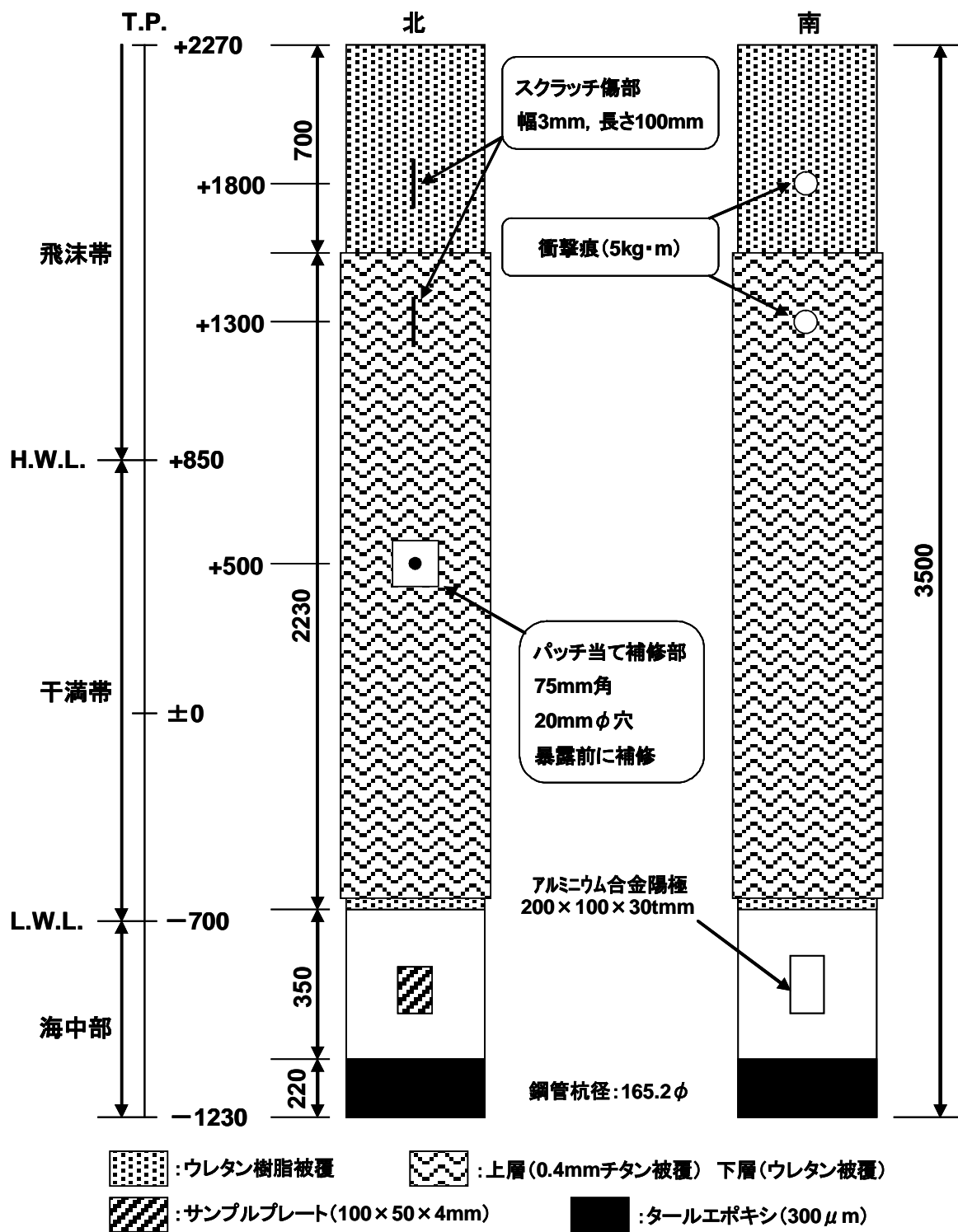


図-2.6.14.1 試験材N-14 外観図

2.6.15 試験材 N-15

(1) 試験目的

重防食(ウレタン樹脂)上に金属被覆(チタン)を施すことで、下記の性能を向上させ、重防食の寿命を延ばすことを目的とする。

①耐候性向上:金属被覆にて重防食に対する劣化因子を遮断する。

②衝撃性向上:金属被覆にて流木などの突発的な衝撃による傷を防止する。

試験材には、衝撃痕(ASTM G14)とスクラッチ傷を付与し、仮に衝撃や傷が形成されても金属被覆を施すことによる耐久性向上の効果を検証する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.15.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.15.1に示す。

表-2.6.15.1 防食仕様(N-15) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリウレタン被覆 + チタン箔被覆	ポリウレタン被覆(2.2mm) Ti(0.1mm)	管	139.8φ×3500 ^l ×4.5 ^t	2.3

(4) 製造工程

素管(SGP 125A×4.5t) → サンドブラスト → ウレタン塗装 → チタン箔接着

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.15.2、素管板厚を表-2.6.15.3 および被覆厚を表-2.6.15.4に示す。

表-2.6.15.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.08	—	0.38	0.018	0.002	—	—	—

表-2.6.15.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
厚さ(mm)	4.52	4.53	4.54	4.53	4.55	4.52

注 1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.15.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
ポリウレタン被覆層(mm)	2.1	2.2	2.3	2.1	2.2	2.3
チタン(mm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

・その他の測定値

①有機被覆部

被覆層密着力:9.8MPa 以上(ポリウレタン被覆層の凝集破壊)

②金属被覆部

衝撃強度:50J 以上

密着強度(ピール強度):30N/cm 以上(粘着層凝集破壊)

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:施設側(北) T.P.+1300 および T.P.+500

形状:幅 1mm×長さ 100mm

②衝撃付与部

位置:海側(南) T.P.+1300 および T.P.+500

形状:円形(衝撃値:3kg・m)

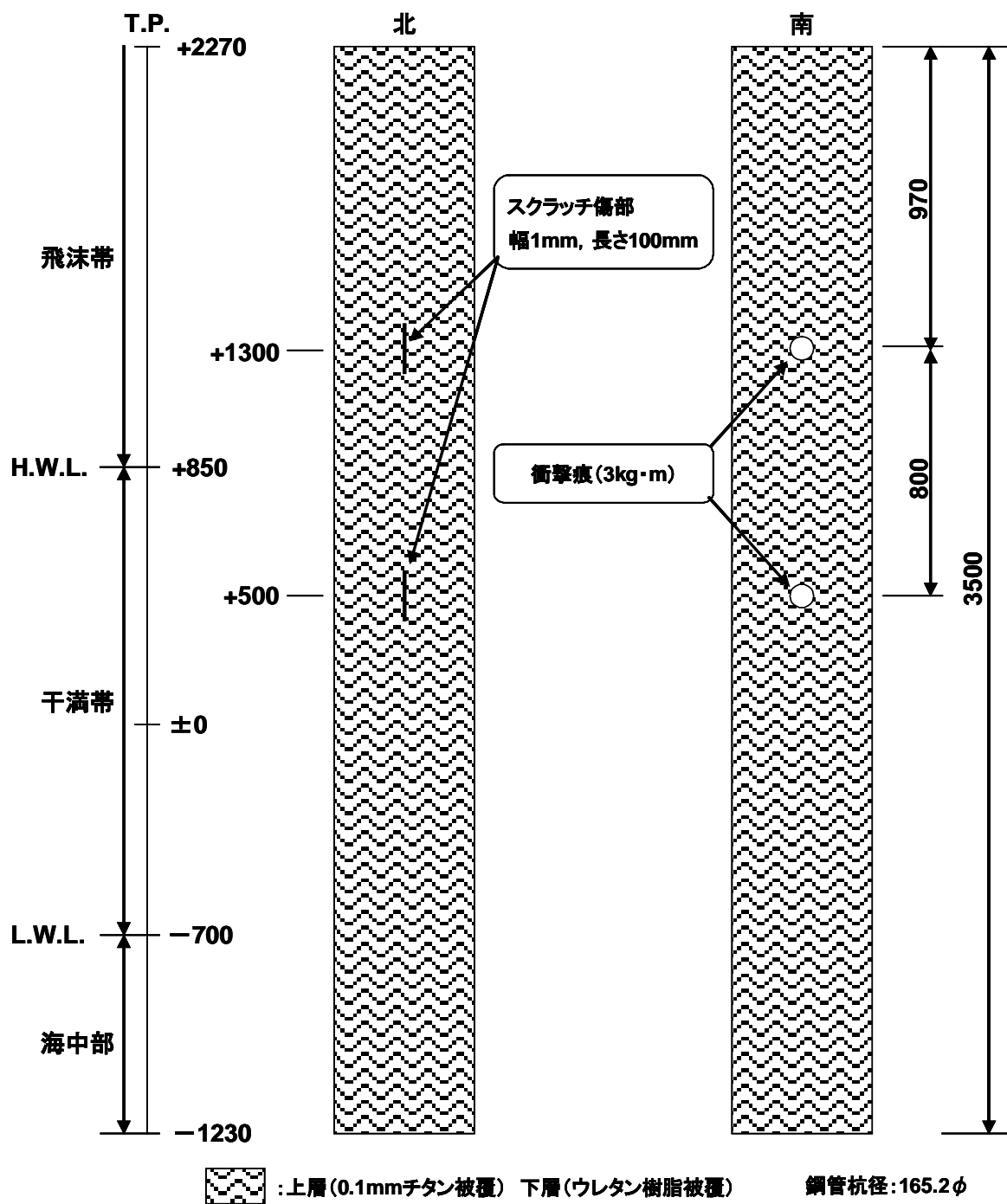


図-2.6.15.1 試験材N-15 外観図

2.6.16 試験材 N-16

(1) 試験目的

重防食(ウレタン樹脂)上に金属被覆(チタン)を施すことで、下記の性能を向上させ、重防食の寿命を延ばすことを目的とする。

①耐候性向上: 金属被覆にて重防食に対する劣化因子を遮断する。

②衝撃性向上: 金属被覆にて流木などの突発的な衝撃による傷を防止する。

試験材には、衝撃痕(ASTM G14)とスクラッチ傷を付与し、仮に衝撃や傷が形成されても金属被覆を施すことによる耐久性向上の効果を検証する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.16.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.16.1に示す。

表-2.6.16.1 防食仕様(N-16) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリウレタン被覆 + チタン箔被覆 + 電気防食	ポリウレタン被覆(2.2mm) Ti(0.1mm) アルミニウム合金陽極(150×70×40 ¹)	管	139.8φ×3500 ¹ ×4.5 ¹	2.3

注1)チタン薄板(箔)被覆の重なり部は、シリコンシーラントを塗布。

(4) 製造工程

素管(SGP 125A×4.5t) → サンドブラスト → ウレタン塗装 → チタン箔接着

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.16.2、素管板厚を表-2.6.16.3 および被覆厚を表-2.6.16.4に示す。

表-2.6.16.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.08	—	0.38	0.018	0.002	—	—	—

表-2.6.16.3 素管の板厚(元厚)

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
厚さ(mm)	4.53	4.53	4.55	4.52	4.54	4.55

注1)超音波厚さ計により測定。

表-2.6.16.4 被覆材の厚さ

レベル	上部(T.P.+2000)		中央部(T.P.+1000)		下部(T.P.-1000)	
	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)	施設側(北)	海側(南)
ポリウレタン被覆層(mm)	2.0	2.3	2.4	2.2	2.3	2.2
チタン(mm)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

・その他の測定値

①有機被覆部

被覆層密着力:9.8MPa 以上(ポリウレタン被覆層の凝集破壊)

②金属被覆部

衝撃強度:50J 以上

密着強度(ピール強度):30N/cm 以上(粘着層凝集破壊)

③電気防食

アルミニウム合金陽極質量(初期):946.55g

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:施設側(北) T.P.+1300 および T.P.+500

形状:幅 1mm×長さ 100mm

②衝撃付与部

位置:海側(南) T.P.+1300 および T.P.+500

形状:円形(衝撃値:3kg・m)

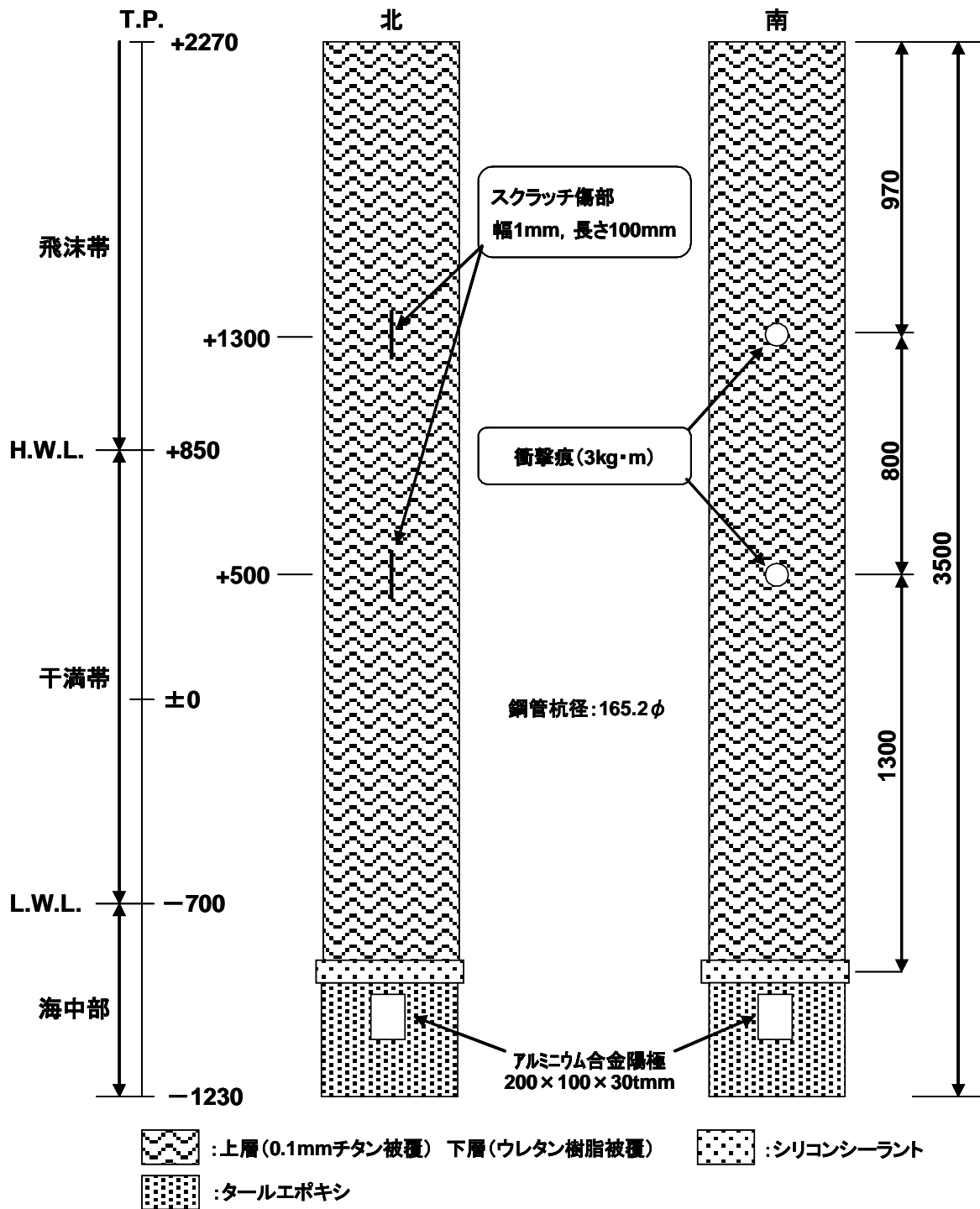


図-2.6.16.1 試験材N-16 外観図

2.6.17 試験材 N-17

(1) 試験目的

重防食(ウレタン樹脂)上に金属被覆(チタン)を施すことで、下記の性能を向上させ、重防食の寿命を延ばすことを目的とする。

- ①耐候性向上: 金属被覆にて重防食に対する劣化因子を遮断する。
- ②衝撃性向上: 金属被覆にて流木などの突発的な衝撃による傷を防止する。

試験材には、衝撃痕(ASTM G14)とスクラッチ傷を付与し、仮に衝撃や傷が形成されても金属被覆を施すことによる耐久性向上の効果を検証する。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.17.1に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.17.1に示す。

表-2.6.17.1 防食仕様(N-17) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
ポリウレタン被覆 + チタン薄板被覆	ポリウレタン被覆(3.8mm) 接着層(3.8mm) Ti(0.4mm)	管	165.2φ×3150 ^l ×11 ^l	8.0

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×11t) → サンドブラスト → ウレタン塗装 → チタン薄板接着

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.17.2、素管の板厚および被覆厚を表-2.6.17.3、絶縁抵抗を表-2.6.17.4、チタンの化学成分を表-2.6.17.5、塗膜の交流インピーダンスを表-2.6.17.6、塗膜硬度を表-2.6.17.7 および衝撃試験結果を表-2.6.17.8に示す。

表-2.6.17.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.15	0.21	0.42	0.024	0.008	—	—	—

表-2.6.17.3 素管の板厚(元厚)および被覆厚

測定位置		鋼管板厚 (mm)	ウレタン膜厚 (mm)	接着層膜厚 (mm)	チタン厚 (mm)	全被覆膜厚 (mm)
施設側(南)	T.P.+1800	11.52	3.8	—	—	3.8
	T.P.+1300	10.88	3.9	2.9	0.4	7.2
	T.P.+1000	11.12	3.6	3.0	0.4	7.0
	T.P.-500	11.75	4.0	2.6	0.4	7.0
	T.P.-1000	11.48	4.4	—	—	4.4
海側(北)	T.P.+1800	10.55	5.1	—	—	5.1
	T.P.+1300	10.69	2.8	5.8	0.4	9.0
	T.P.+1000	10.39	4.0	3.6	0.4	8.0
	T.P.-500	9.95	2.8	4.6	0.4	7.8
	T.P.-1000	10.23	3.1	—	—	3.1

注1)素管の板厚は、超音波厚さ計により測定。

注2)被覆厚は、電磁膜厚計により測定。

表-2.6.17.4 絶縁抵抗

測定位置		被覆	膜厚	絶縁抵抗(Ω)	
				1分値	2分値
施設側(南)	T.P.+1600	ウレタン被覆	3.6mm	1.5×10^{11}	1.6×10^{11}
	T.P.-1000	ウレタン被覆	4.4mm	1.4×10^{12}	2.0×10^{12}
海側(北)	T.P.+1600	ウレタン被覆	6.0mm	1.2×10^{12}	1.3×10^{12}
	T.P.-1000	ウレタン被覆	3.1mm	9.3×10^{11}	8.5×10^{11}

表-2.6.17.5 チタンの化学成分

元素	H	O	N	Fe	C	Ti
質量%	0.001	0.04	0.01	0.03	0.01	BAL.

注1)チタン:JIS 1種(ミルシート成分%)

表-2.6.17.6 塗膜の交流インピーダンス

測定位置		被覆	塗膜厚さ	周波数(Hz)	R値(Ω)	tan δ
施設側(南)	T.P.+1600	ウレタン被覆	3.6mm	200	1.00×10^9	0.02
				500	2.50×10^8	0.03
				1000	1.43×10^8	0.03
	T.P.-1000	ウレタン被覆	4.4mm	200	1.64×10^8	0.09
				500	1.30×10^8	0.05
				1000	1.12×10^8	0.03
海側(北)	T.P.+1600	ウレタン被覆	6.0mm	200	2.00×10^8	0.13
				500	1.25×10^8	0.09
				1000	9.09×10^7	0.06
	T.P.-1000	ウレタン被覆	3.1mm	200	1.00×10^9	0.02
				500	3.33×10^8	0.02
				1000	1.25×10^8	0.03

表-2.6.17.7 塗膜硬度

測定位置		被覆	ショア D
施設側(南)	T.P.+1600	ウレタン被覆	51
	T.P.-1000	ウレタン被覆	58
海側(北)	T.P.+1600	ウレタン被覆	55
	T.P.-1000	ウレタン被覆	52

表-2.6.17.8 衝撃試験

測定位置		被覆	全膜厚	衝撃試験(5kg・m)
海側(北)	T.P.+1300	チタン被覆	9.0mm	ひび・われなし
	T.P.+1800	ウレタン被覆	5.1mm	ピンホールなし

注1)衝撃試験:ASTM G14 準拠、ピンホール検査 17.5kV

(6)人工傷・衝撃付与

①スクラッチ傷

位置:施設側(南) T.P.+1800 および T.P.+1300

形状:幅 3mm×長さ 100mm

②衝撃付与部

位置:海側(北) T.P.+1800 および T.P.+1300

形状:円形(衝撃値:5kg・m)

③パッチ当て補修部(暴露前に補修実施)

位置:施設側(南) T.P.+500

形状:75mm角+20φmm穴

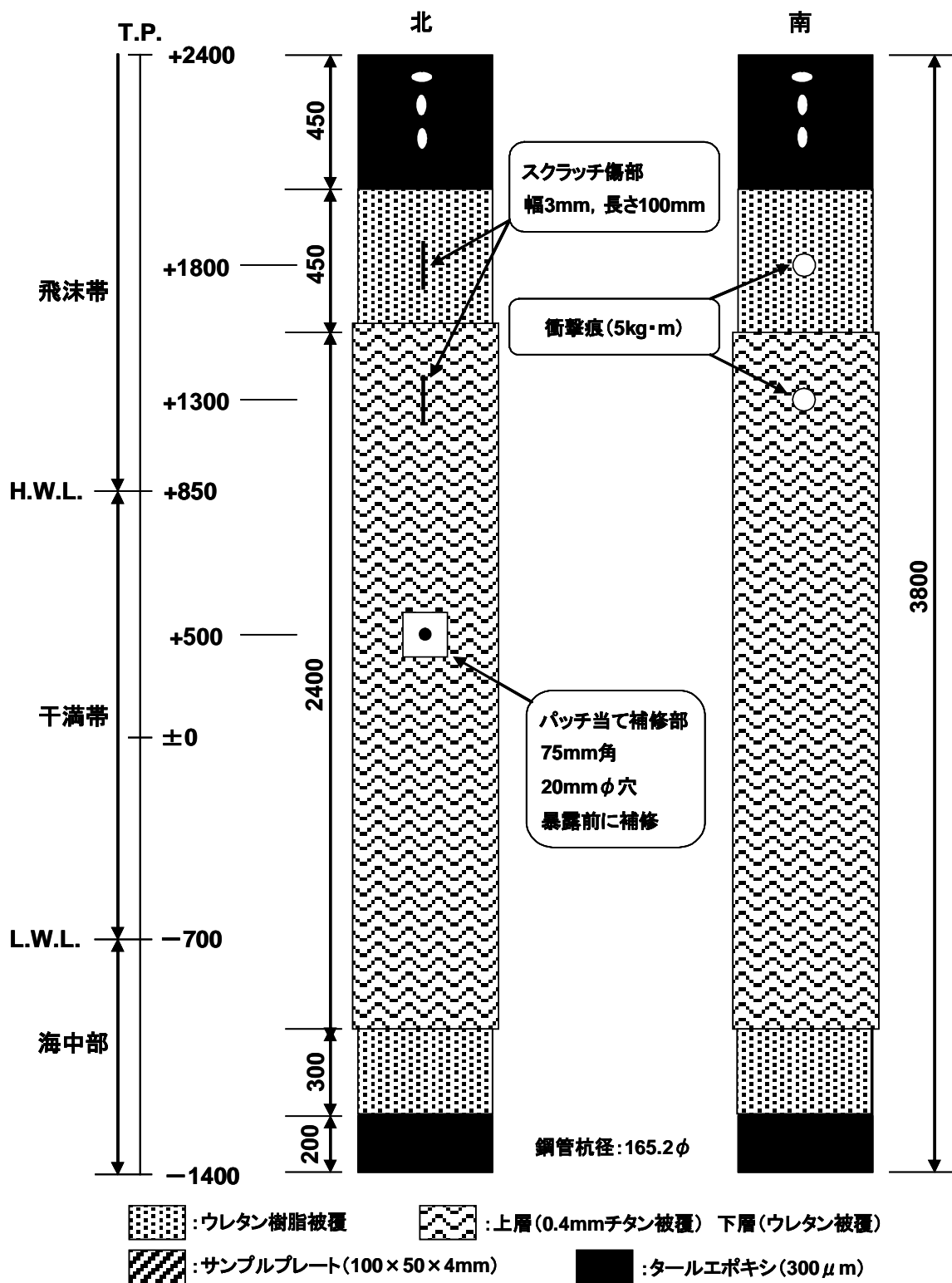


図-2.6.17.1 試験材N-17 外観図

2.6.18 試験材 N-18

(1) 試験目的

海洋環境での長期耐久性を有し、かつ衝撃や傷にも強いチタンクラッド鋼防食法は、東京湾横断道路などに適用され実績は多い。しかし、チタン表面が低い電位に長期間晒されると、水素がチタン表面に吸収され、一部水素化物を形成する可能性がある。

本試験材では、電気防食電位を固定する新しい技術を導入し、チタンクラッド鋼の表面での変化を評価することを目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.18.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.18.1 に示す。

表-2.6.18.1 防食仕様(N-18) 暴露開始:2003年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
チタンクラッド + 電気防食	Ti(1.0mm) アルミニウム合金陽極(-900mV 固定)	管	165.2φ×3500 ^l ×11 ^t	6.6

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×11t) → チタン薄板貼りあわせ溶接

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.18.2、素管の板厚および被覆厚を表-2.6.18.3、チタンの化学成分を表-2.6.18.4 および塗膜硬度を表-2.6.18.5 に示す。

表-2.6.18.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.15	0.21	0.42	0.024	0.008	—	—	—

表-2.6.183 素管の板厚(元厚)および被覆厚

測定位置		鋼管板厚 (mm)	ターレポキシ膜厚 (μ m)	チタン厚 (mm)
施設側 (北)	T.P.+2000	10.73	769	—
	T.P.+1500	11.05	—	(1.0)
	T.P.+1000	10.87	—	(1.0)
	T.P.-500	11.45	—	(1.0)
	T.P.-1000	11.22	—	—
	T.P.-1120	—	539	—
海側 (南)	T.P.+2000	11.80	500	—
	T.P.+1500	11.03	—	(1.0)
	T.P.+1000	11.03	—	(1.0)
	T.P.-500	11.21	—	(1.0)
	T.P.-1000	10.67	—	—
	T.P.-1120	—	617	—

注1)素管の板厚は、超音波厚さ計により測定。

注2)塗膜厚は、超音波厚さ計により測定。

表-2.6.184 チタンの化学成分

元素	H	O	N	Fe	C	Ti
質量%	0.001	0.04	0.01	0.04	0.01	BAL.

注1)チタン:JIS 1種(ミルシート成分値%)

表-2.6.185 塗膜硬度

測定位置		被覆	鉛筆硬度
施設側(北)	T.P.-1120	ターレポキシ	HB
海側(南)	T.P.-1120	ターレポキシ	HB

・その他の測定

①電気防食

アルミニウム合金陽極質量(初期):1799.3g

制御電圧:0.2V(陽極電位より0.2Vシフト)、最大電流2.0A

(6)人工傷・衝撃付与

なし

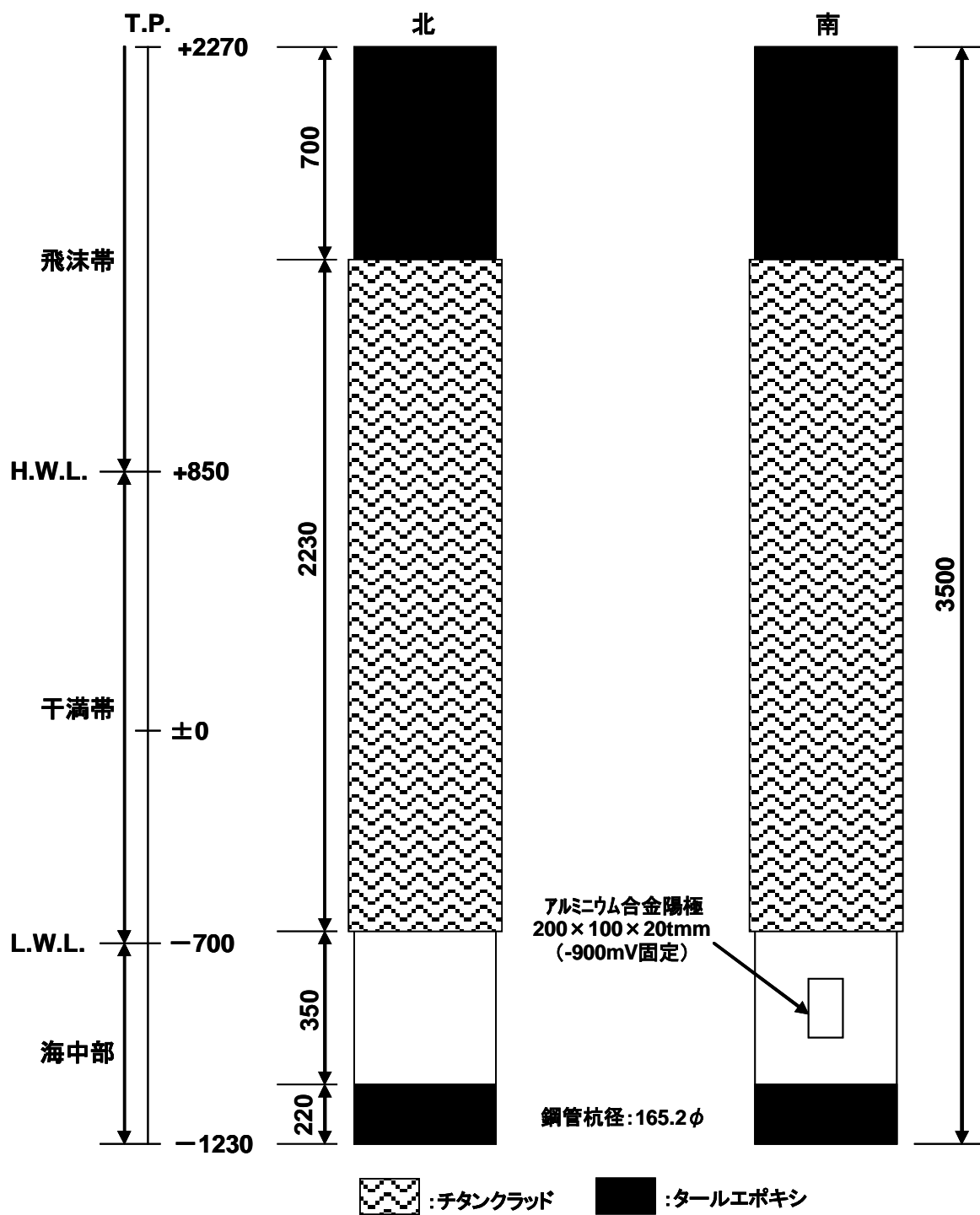


図-2.6.18.1 試験材N-18 外観図

2.6.19 試験材 N-19

(1) 試験目的

従来より多用されている FRP カバー補修法のカバー材料を金属被覆(チタン)にすることで、紫外線劣化が起こりにくく、大幅な耐久性の向上が図れる。

- ①耐候性向上: 金属被覆にて重防食に対する劣化因子を遮断する。
- ②衝撃性向上: 金属被覆にて流木などの突発的な衝撃による傷を防止する。

本試験材では、初期に施工した場合と、1 年間鋼材を腐食させた後に施工した場合の耐久性と施工性の検証を目的とする。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.19.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.19.1 に示す。

表-2.6.19.1 防食仕様(N-19) 暴露開始:2003 年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
有機ジungkリッチ + タールエポキシ + ペトロラタムテープ + チタン薄板カバー	有機ジungkリッチ(100 μ m) タールエポキシ(640 μ m) ペトロラタムテープ(4.4mm) Ti(0.6mm)	管	165.2 φ × 3150' × 11'	5.74

(4) 製造工程

素管(SGP 150A×11t) → サンドブラスト → 塗装 → 補修 → (1 年間暴露) → 補修

(5) 初期データ

素管の化学成分を表-2.6.19.2、素管の板厚および被覆厚を表-2.6.19.3、チタンの化学成分を表-2.6.19.4、絶縁抵抗を表-2.6.19.5 および塗膜の交流インピーダンスを表-2.6.19.6 に示す。

表-2.6.19.2 素管の化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	その他
質量%	0.15	0.21	0.42	0.024	0.008	—	—	—

表-2.6.19.3 素管の板厚(元厚)および被覆厚

測定位置		鋼管板厚 (mm)	有機シンクワッチ (μ m)	タールエポキシ (μ m)	ペトロラタムテープ (mm)	チタン厚 (カタログ値 mm)	全被覆厚 (μ m)
施設側(南)	T.P.+1800		120	622			742
	T.P.+1500	12.04			(5.20)	0.6	5800
	T.P.+1250	12.11			(5.25)	0.6	5850
	T.P.+1000	12.37			(5.45)	0.6	6050
	T.P.+375		135	613			748
	T.P.-500	12.29					
	T.P.-1100	12.20	123	731			854
海側(北)	T.P.+1800		80	819			899
	T.P.+1500	11.61			(3.80)	0.6	4400
	T.P.+1250	11.60			(3.20)	0.6	3800
	T.P.+1000	11.51			(3.50)	0.6	4100
	T.P.+375		62	483			545
	T.P.-500	11.52					
	T.P.-1100	11.63	84	552			636

注1)素管の板厚は、超音波厚さ計により測定。

注2)被覆厚は、電磁膜厚計により測定。

表-2.6.19.4 チタンの化学成分

元素	H	O	N	Fe	C	Ti
質量%	0.001	0.04	0.01	0.04	0.01	BAL.

注1)チタン:JIS 1種(ミルシート成分値%)

表-2.6.19.5 絶縁抵抗

測定位置		膜厚(μm)	絶縁抵抗(Ω)	
			1分値	2分値
施設側(南)	T.P.+1800	742	4.50×10^8	5.00×10^8
	T.P.+375	748	9.50×10^8	9.50×10^8
	T.P.-1100	854	5.00×10^8	5.10×10^8
海側(北)	T.P.+1800	899	2.80×10^8	3.00×10^8
	T.P.+375	545	2.40×10^8	2.50×10^8
	T.P.-1100	636	8.00×10^8	9.00×10^8

表-2.6.19.6 塗膜の交流インピーダンス

測定位置		膜厚(μm)	周波数(Hz)	R値(Ω)	tan δ
施設側(南)	T.P.+1800	742	200	1.52×10^7	0.20
			500	8.26×10^6	0.16
			1000	5.03×10^6	0.14
	T.P.+375	748	200	1.56×10^7	0.18
			500	7.69×10^6	0.16
			1000	4.58×10^6	0.14
	T.P.-1100	854	200	8.47×10^6	0.32
			500	5.18×10^6	0.24
			1000	3.48×10^6	0.19
海側(北)	T.P.+1800	899	200	1.54×10^7	0.23
			500	8.70×10^6	0.18
			1000	5.38×10^6	0.16
	T.P.+375	545	200	1.23×10^7	0.19
			500	6.67×10^6	0.16
			1000	4.00×10^6	0.14
	T.P.-1100	636	200	1.64×10^7	0.20
			500	9.01×10^6	0.15
			1000	5.46×10^6	0.13

(6)人工傷・衝撃付与
なし

(7)補修部

図-2.6.19.1に示す。

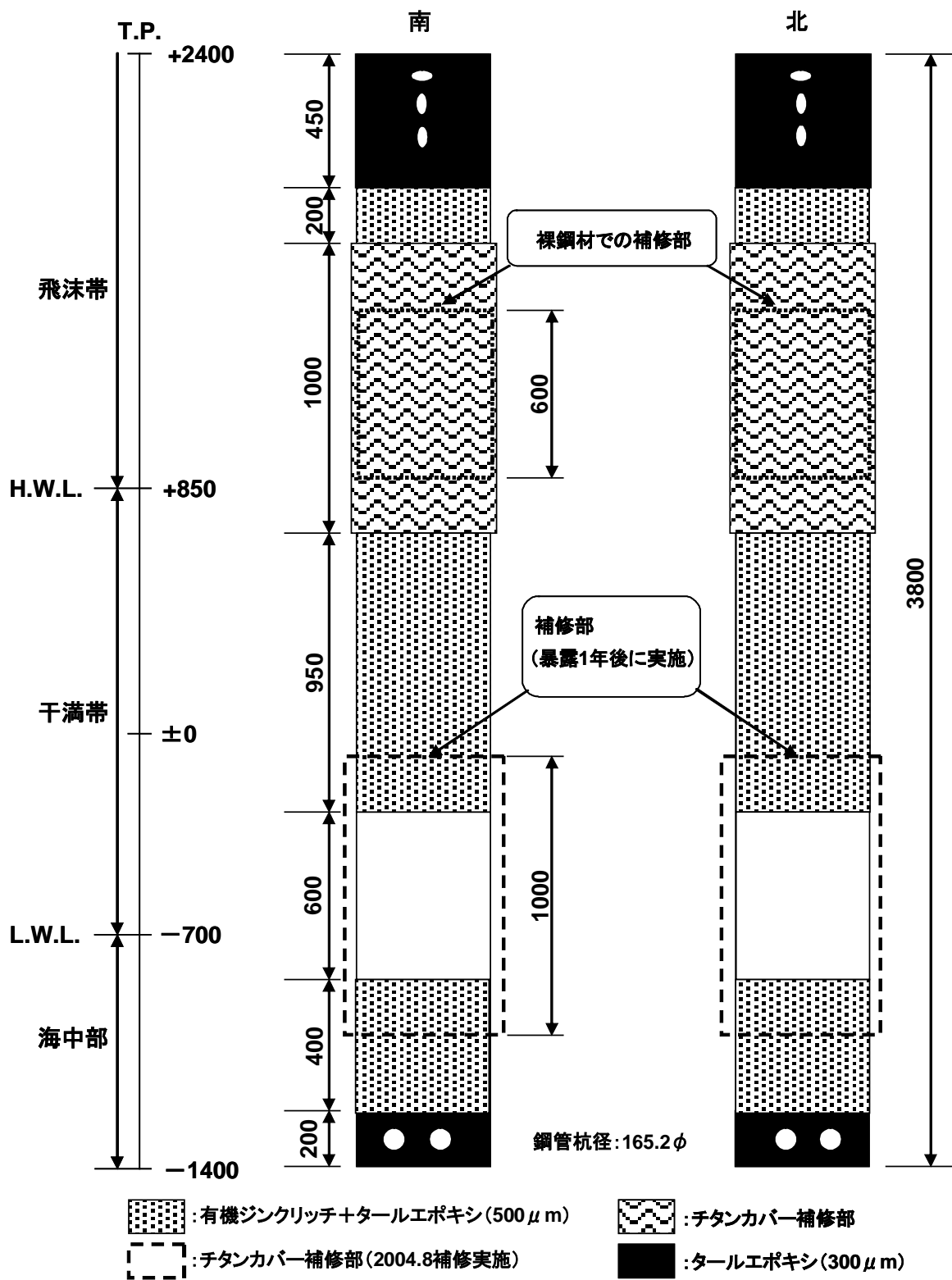


図-2.6.19.1 試験材N-19 外観図

2.6.20 試験材 N-20

(1) 試験目的

本試験材は、短期の海洋暴露試験において以下に示す塗装材の劣化機構を明らかにすることを目的とする。

- ①近年海洋構造物に適用されている超厚膜型エポキシ樹脂塗装の塗膜中の塩化物イオンの拡散速度の検証。
- ②タールエポキシ塗装の欠陥部からの鋼材の腐食速度の検証。

(2) 試験材外観

試験材外観図を図-2.6.20.1 に示す。

(3) 防食仕様

防食仕様を表-2.6.20.1 に示す。

表-2.6.20.1 防食仕様(N-20) 暴露開始:2004年～

防食系	防食仕様	形状	素管(mm)	被覆厚(mm)
超厚膜エポキシ + タールエポキシ	①有機ジクロリッチ+超厚膜型エポキシ 試験片:25+100 μ m 25+200 μ m 25+300 μ m 25+400 μ m ②有機ジクロリッチ+タールエポキシ 試験片:25+300 μ m	板状	150×150×3172 ² ×10 ¹	①仕様 125,225, 325,425 μ m ②仕様 325 μ m

①有機ジクロリッチ+超厚膜エポキシ:塩化物イオンの拡散測定用塗装試験片

②有機ジクロリッチ+タールエポキシ:塗膜はくり進展測定用塗装試験片

(4) 製造工程

試験片(150×75×4.5t) → 塗装

(5) 初期データ

塗装試験片の設置数量を表-2.6.20.2 に示す。

表-2.6.20.2 塗装試験片の設置数量

塗装仕様	膜厚 (μm)	設置数量					
		暴露期間:1年間			暴露期間:4年間		
		飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯	干満帯	海中部
有機シンクッチ + 超厚膜エポキシ	125	1	1	1	1	1	1
	225	1	1	1	1	1	1
	325	1	1	1	1	1	1
	425	1	1	1	1	1	1
有機シンクッチ+タールエポキシ	325(1mm ϕ 穴)	1	1	1	1	1	1
	325(3mm ϕ 穴)	1	1	1	1	1	1
	325(6mm ϕ 穴)	1	1	1	1	1	1
	325(12mm ϕ 穴)	1	1	1	1	1	1

1)有機シンクッチ+タールエポキシ塗装試験片には、試験片中央部に人工傷(1,3,6,12mm ϕ の穴)を付与

3. 2013 年度詳細調査

旧暴露試験からの継続暴露試験材(11本)および2003年度から暴露開始した新規暴露試験材(19本)の計30本を対象に現地調査および詳細調査を実施した。現地調査は、各試験材に関して表-2.2.2 および表-2.2.3 に示した項目の測定を行った。詳細調査については、試験材毎に異なるため、以下試験材別に、調査方法と調査結果を示した。これらの表の防食仕様に試験材の目的仕様の概要を追記し、調査項目を年度別に整理して表-3.1、表-3.2 に示した。

表-3.1 継続暴露試験材に関する回収後の測定項目 (2013年度)

試験材	防食系	防食仕様・狙い仕様	形状	製担当会社	暴露開始 (年)	2013年度の詳細調査項目 (回収後の測定項目)
A-10-1	キュプロニックケル圧延クラッド	9-1キュプロニックケル:化学成分	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ^{※2}		外観観察、生物付着状況、局部腐食観察
A-13-B	チタン板溶接	B.純チタン(素管) + 純チタン(片): すきま付与	管	日本チタン協会	1984.3～	外観観察
A-13-C	チタン板溶接	C.純チタン(素管) + チタン合金(片): 同上	管			外観観察
A-14	キュプロニックケル圧延クラッド	9-1キュプロニックケル:化学成分	管	日本製鋼所 (神戸製鋼所) ^{※2}	1991～	外観観察、生物付着状況、局部腐食観察
C-1	チタンクラッド	T1 + 塗装 ¹⁾ + 電防: 上下防食仕様差	角管	新日本製鋼 (新日本製鋼)	1991～	外観観察、生物除去後の外観撮影(詳細)、ターボエポキシ塗装のふくれ・欠陥比率測定(海中部) 海中部のターボエポキシ塗装(暴露目試験、付着力測定:各6箇所 総経路抵抗、交流インピーダンス測定:各4箇所) 厚膜エポキシ塗装(露目試験、付着力測定:各6箇所 総経路抵抗、交流インピーダンス測定:各4箇所) アノード重量・サイズ、測定面の補修、アノード取り替え
H-1	チタンクラッド鋼・ステンレス鋼 ・普通鋼塗装 + 電防	飛沫帯 チタン, 0.4mmt 干満帯 SUS304鋼, 0.5mmt 海中部 ターボエポキシ, 300 μm アルミニウム合金陽極	管	※3	1998～	外観観察、生物除去後の外観撮影(詳細)、ターボエポキシ塗装のふくれ・欠陥比率測定(海中部) 海中部のターボエポキシ塗装(暴露目試験、付着力測定:各2箇所 総経路抵抗、交流インピーダンス測定:各2箇所) アノード重量・サイズ
F-2	超厚膜型エポキシ樹脂塗料	OZP(20 μm) + エポキシ(1250 μm × 2): 超厚膜 ^{※1}	管	大日本塗料	1993～	外観観察、電気化学的測定、塗膜下素地金属の状態観察、他(未定)
F-4	ポリウレタン樹脂塗料	プライマー(30 μm) + ポリウレタン(2500 μm): 同上	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料化学) ^{※3}	1993～	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力
G-2	GF入りの着色ビニルエステル	OZP(20 μm) + GF入りビニルエステル(350 μm × 2) (OZP残り無し) 変性エポキシ(50 μm) + GF入り着色ビニルエステル(350 μm × 2): 同上	管	大日本塗料	1993～	外観観察、電気化学的測定、塗膜下素地金属の状態観察、他(未定)
C-5	ポリウレタン樹脂塗料	着色ポリウレタン(緑2500 μm): 超厚膜	管	日本ペイント防食コーティングス (三井金属塗料化学) ^{※3}	1990～	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力
C-6	ポリウレタン樹脂塗料	黒色ポリウレタン(黒2500 μm): 超厚膜	管	※3	1990～	外観観察、膜厚、交流インピーダンス測定、塗膜ピンホール測定、付着力

- 1) 上部(鋼)塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
上部(鋼+チタンクラッド)塗装: エポキシ(60 μm × 2) + ふっ素(30 + 25 μm)
下部(鋼+チタンクラッド)塗装: ターボエポキシ(150 μm × 2)
下部(鋼)塗装: 無機ジンクリッチ(75 μm) + エポキシ(ミストコート)
- 2) ※1 は、別途試験片(板状)を光沢・色差測定用に暴露
- 3) G-2は、上段が初期塗装で下段が補修塗装。補修は現地施工
- 4) ※2 は、神戸製鋼所が作製し日本製鋼所が引き継いだ試験材
- 5) ※3の()内は日社名

表-3.2 新規暴露試験材に関する回収後の測定項目 (2013年度)

試験材	防食系	防食仕様・狙い仕様	形状	製作担当会社	2013年度の詳細測定項目 (回収後の測定項目)
N-1	FRP保護カバ ー系	FRP保護カバ ー+特殊防食樹脂a (厚2mmラジック無し)+(厚5mmウレタン系):ウレタン系防食層の防食性	管	ナカボテテック	FRP保護カバ ー材の引張り強度・曲げ強度・防食層・鋼材素地面の外観観察、板厚測定
N-2		FRP保護カバ ー+特殊防食樹脂b (厚2mmラジック無し)+(厚5mmウレタン系):ウレタン系防食層の防食性	管	ナカボテテック	FRP保護カバ ー材の引張り強度・曲げ強度・防食層・鋼材素地面の外観観察、板厚測定
N-3	PE被覆系	PE被覆鋼材(改良系1):傷部4か所(飛沫帯2、干満帯2) (ホリエチレン被覆+ウレタン系+電気防食):重防食遮断性能、現地補修人口傷	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、傷部:劣化進展・板厚減少量・鈍発生面積の測定
N-4		PE被覆鋼材(改良系2):耐久性性能 (ホリエチレン被覆+ウレタン系+電気防食):耐久性性能	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、アノード重量・サイズ
N-5		PE被覆鋼材(改良系3):特殊表面処理が異なる。 (ホリエチレン被覆+ウレタン系):重防食遮断性能、現地補修人口傷	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、傷部:劣化進展・板厚減少量・鈍発生面積の測定
N-6		PE被覆鋼材(改良系4):耐久性性能 (ホリエチレン被覆+ウレタン系+電気防食):耐久性性能	管	JFEスチール	有機被覆部:衝撃強度、アノード重量・サイズ
N-7		高耐食性SUS+電気防食(海中部電防:飛沫・干満帯SUS被覆) (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N):スクラッチ傷、衝撃痕、暴露前補修他	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	有機被覆部:塗膜付着力・硬度、衝撃強度・絶縁抵抗・交流インピーダンス測定 金属被覆部:すきま腐食・溶接部の健全性 補修部:腐食の進展、板厚減少量 アノード重量、サイズ
N-8		高耐食性SUSa被覆+ステレージ接続電気防食(上下端塗装) (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-NのSUS、厚0.8mm)	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	金属被覆部:外観観察
N-9	高耐食性SUSa被覆+ステレージ接続電気防食(同上) (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.上に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	金属被覆部:外観観察、被覆内部の劣化進展	
N-10	高耐食性SUSb被覆+ステレージ接続電気防食 (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) N-8のH.W.L.下に傷を付与	管	新日鐵住金 (住友金属工業)※	金属被覆部:外観観察、被覆内部の劣化進展	
N-11	高耐食性SUS+電気防食:スチール厚1.47mm (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N):飛沫/干満帯に人口すきま(50mm)付与	管	日本冶金工業 (YAKINI川崎)※	金属被覆部:外観観察・電位測定・被覆浮き・すきま内部の腐食有無・素管板厚・被覆厚、 すきま腐食再不動態化電位測定 アノード重量	
N-12	高耐食性SUS+電気防食:スチール厚1.50mm (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N):同上、いずれも環状の隙間	管	日本冶金工業 (YAKINI川崎)※	金属被覆部:外観観察・電位測定・被覆浮き・すきま内部の腐食有無・素管板厚・被覆厚、 すきま腐食再不動態化電位測定 アノード重量	
N-13	高耐食性SUS (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N):材料のみの純暴露	アングル	JFEスチール	外観観察(すきま腐食、孔食の有無、板厚計測)	
N-14	Ti箔張付PU被覆:耐食性/衝撃性向上、衝撃痕/スクラッチ傷付与他 (海中部電防:飛沫・干満帯PU被覆+接着剤+0.4mmTi)	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	有機被覆部:塗膜付着力・硬度、衝撃強度・絶縁抵抗・交流インピーダンス測定 金属被覆部:衝撃強度・密着強度(アノードイオンテラスタ)・溶接部の健全性 傷部、衝撃部:劣化進展・板厚減少量 アノード重量・サイズ	
N-15	Ti箔張付PU被覆:全面0.1mmチタノ、衝撃痕/スクラッチ傷付与他	管	JFEスチール	有機被覆部:被覆層密着力 金属被覆部:密着強度(ピール強度) 傷部、衝撃部:劣化進展・板厚減少量	
N-16	Ti箔張付PU被覆+電気防食:同上	管	JFEスチール	有機被覆部:被覆層密着力 金属被覆部:密着強度(ピール強度) 傷部、衝撃部:劣化進展・板厚減少量 アノード重量・サイズ	
N-17	Ti箔張付PU被覆:接着層(3.8mm)増:同上	管	クボタ	有機被覆部:塗膜付着力・硬度、衝撃強度・絶縁抵抗・交流インピーダンス測定 金属被覆部:衝撃強度・密着強度(アノードイオンテラスタ)・溶接部の健全性 傷部、衝撃部:劣化進展・板厚減少量	
N-18	Tiクラッド+電気防食(-900mV固定) (厚1mm):固定防食電位とTiクラッド表面の変化	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	金属被覆部:水素化の程度 アノード重量・サイズ	
N-19	Ti被覆ベトロプラタム補修仕様(TE塗装の一部を1年暴露後補修) :金属被覆による重防食因子遮断、衝撃防止ほか	管	新日鐵住金 (新日本製鐵)※	補修部の解体、板厚減少量、塗装部の劣化測定	
N-20	①有機シンク25μm+超厚膜エポキシ(100,200,300,400μm):塗装材 ②有機シンク+ウレタン系300μm(傷部φ1.2,5,10mm)の劣化機構	管(角)	新日鐵住金 (新日本製鐵)※		

※ () 内は旧社名

2013 年度に実施した調査の結果は以下である。

3.1 環境調査(海水分析)

試験材の暴露場所は、比較的温暖な気象条件であるが、波浪の影響は大きく、研究施設には常にうねりが寄せ、風速によっては試験材を取り付けている第 3 デッキまで波をかぶる。さらに、波浪の大きい時は、漂砂の影響が施設の海中部材にまでおよんでいると考えられる。

表-3.1.1 に旧暴露試験を通してこれまでに調査した海水の水質分析・測定結果を示す。旧暴露試験も含めこれまでの試験期間を通じて各項目とも大きな変動は見られなかった。研究施設付近の海水は、通常は標準的な清浄海水と考えられるが、台風時には大井川上流の集中豪雨による淡水流入の影響が短期間ではあるが現れることもある。

表-3.1.1 現地海水の水質測定結果

測定項目	水素イオン濃度 pH		比抵抗 $\Omega \cdot \text{cm}$		溶存酸素 ppm		塩化物イオン濃度 ppm		硫酸イオン濃度 ppm		水温 $^{\circ}\text{C}$	
	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水
標準清浄海水	約8.2		20~25		7~8		18900		2600		—	
測定方法	ガラス電極法		導電率計		隔膜電極法		硝酸銀滴定法		硫酸バリウム比濁法		水銀温度計(現地)	
位置	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水	表水	底水
1985. 2.27	8.0	8.0	21.4	21.4	8.8	8.9	19300	18900	2720	2740	13.8	12.8
1985.11.21	7.9	8.1	22.2	22.1	7.2	6.8	19300	19300	2920	2930	14.9	13.2
1986. 7.29	8.2	8.2	23.8	23.1	6.8	7.0	19600	17000	2420	2570	26.2	25.5
1987.12.16	8.1	8.1	18.9	19.0	6.8	7.5	19200	17000	2630	2560	17.0	17.5
1988. 8. 6	8.0	8.1	21.3	20.8	7.2	7.7	19500	20100	2520	2640	24.3	24.0
1989.10.25	8.1	7.8	22.0	22.1	7.9	8.0	18500	18600	2800	2800	19.2	19.3
1990.10.18	8.2	8.2	23.6	22.9	7.1	7.8	18000	18700	2530	2590	22.2	23.2
1991.11.17	8.1	8.2	23.0	22.0	7.4	7.8	18700	18600	2360	2320	18.1	17.5
1992. 7.28	8.1	8.1	24.0	23.0	8.7	7.3	17000	18600	2350	2450	26.4	25.2
1993.10.22	8.2	8.2	24.0	24.2	6.8	6.9	18850	18950	2625	2517	21.4	21.2
1994. 8. 3	8.2	8.2	20.5	20.5	6.7	6.3	19150	19400	2550	2570	24.4	24.2
1995. 8. 1	8.1	8.1	21.0	21.0	7.3	6.9	18800	18900	2600	2595	24.4	22.6
1996. 8. 2	8.1	8.2	21.0	21.0	7.9	7.8	18500	18550	2570	2590	24.0	23.0
1997. 7.30	8.2	8.2	24.0	21.0	8.0	7.1	15600	18300	2200	2500	24.0	24.0
1998. 8. 5	8.3	8.2	22.0	21.0	8.0	7.7	18000	19000	2300	2500	24.4	23.9
1999. 7.26	8.4	8.6	21.0	21.0	7.8	7.6	18000	18000	2300	2400	25.0	24.0
2001. 8. 4	8.2	8.2	20.4	18.6	6.7	7.0	17400	19500	2320	2580	27.1	25.6
2003. 8. 4	8.0	8.0	26.4	22.8	6.9	6.5	16550	19100	2250	2560	24.6	22.9
2005. 8. 19	8.1	8.2	21.8	20.8	7.3	6.4	18200	19400	2550	2650	26.2	25.5
2008. 8. 4	8.0	8.2	20.0	20.5	6.8	6.7	18840	19380	2640	2450	25.0	23.0
2011. 7. 29	8.1	8.1	21.4	21.1	7.8	7.3	18200	19100	2350	2470	24.5	24.0
2013. 6. 1	8.1	8.1	20.0	19.8	8.2	7.1	19300	19500	2700	2750	20.0	19.0

3.2 継続暴露試験材の調査結果

旧暴露試験（1984年開始）から継続暴露された試験材（11本）の、試験材ごとにまとめた調査結果は次のとおりである。

3.2.1 試験材 A-10-1

3.2.1.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況写真を写真-3.2.1.1、外観スケッチを図-3.2.1.1に示す。飛沫帯については、北側（施設側）上部で研究施設との固定部からのもらい錆により茶褐色を呈していた。北側下部と南側は、緑青色の錆で覆われていた。干満帯については、上部にφ10～20 mm のフジツボが散在して付着しており、南側の付着量の方が若干少なかった。干満帯下部から海中部にかけては、黒褐色の藻のようなものが付着していたが、大きな海生生物は見られなかった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況写真を写真-3.2.1.2および写真-3.2.1.3、外観スケッチを図-3.2.1.2に示す。飛沫帯は、研究施設との固定部からのもらい錆により茶褐色を呈していた北側（施設側）上部を除いて、緑青色の錆で覆われていた。干満帯と海中部については、緑錆色を帯びた黒褐色を呈しており、フジツボ類が付着していた箇所の試験材素地面は銅系の金属光沢をもつ微小な凹凸のある梨肌となっていた。局部腐食は見られず、他の部分においても問題となる腐食は認められなかった。

(3) 溶接部の外観観察

溶接部については、一部にフジツボ類が付着していたが、付着下での局部腐食は見られず、健全な状態であった。

3.2.1.2 詳細調査

3.2.1.2.1 詳細調査方法

詳細調査では、試験材を長手方向に約250 mm 間隔で切断して、断面観察による局部腐食状況の調査および合せ材キュプロニッケルの厚さ測定による全面腐食状況の調査を行った。なお、試験材の両端部、すなわち上端部から約300 mm と下端部から約150 mm の範囲は、試験材を研究施設に設置するための固定具とのつなぎ部分であることから、調査からは除外した。

3.2.1.2.2 詳細調査結果

(1) 断面マクロ観察

試験材の代表的な断面マクロ写真を写真-3.2.1.4に示す。飛沫帯、干満帯および海中部のいずれにおいても、溶接部も含めて、合せ材9-1 キュプロニッケルに局部腐食は認められなかった。

(2) 断面ミクロ観察

試験材の断面ミクロ組織を写真-3.2.1.5に示す。飛沫帯、干満帯および海中部のいずれの位置においても、合せ材および溶接部に局部腐食は認められなかった。フジツボ付着部の断面ミクロ組織写真を写真-3.2.1.6

に示す。フジツボ付着部についても、局部腐食は認められなかった。

(3) 板厚測定

試験材の板厚測定結果を図-3.2.1.3に示す。合せ材厚さは、平均値で約2.8~3.1 mmであった。干満帯下部から海中部は、飛沫帯に比べて薄くなっていた。試験開始当時の初期厚さは正確には判らないが、腐食環境にさらされていない上端および下端の試験材の固定部の厚さ（平均で約3.06 mm）を基準とすると、全面腐食による減肉は、飛沫帯ではほとんど生じておらず、干満帯下部から海中部で生じていることが判った。干満帯下部から海中部は平均で約0.2~0.3 mmの減肉であると考えられる。暴露期間29年間における干満帯下部から海中部の腐食速度は約0.01 mm/yearであり、長期間に渡って極めて良好な耐食性を示すことが確かめられた。なお、厚さの測定結果が方角によって若干異なっているが、製造時の元々の厚さ分布の違いによるものであり、海洋上の方角の違いによるものではないと思われる。

3.2.1.3 まとめ

1984~2013年の29年間の長期に渡って暴露試験に供された試験材A-10-1（9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼）の調査結果より、以下のことが判った。

- (1) フジツボ等の海生生物の付着は、干満帯に極わずかにみられるだけであり、大きな海生生物の付着は見られない。
- (2) フジツボ類の付着部や溶接部も含めて、試験材には局部腐食等は認められず、健全な状態である。
- (3) 全面腐食による減肉は、飛沫帯ではほとんど生じておらず、干満帯下部から海中部で生じている。干満帯下部から海中部の減肉量は、平均で約0.2~0.3 mmである。腐食速度は約0.01 mm/yearであり、本9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼は極めて良好な耐食性を示すことが確かめられた。

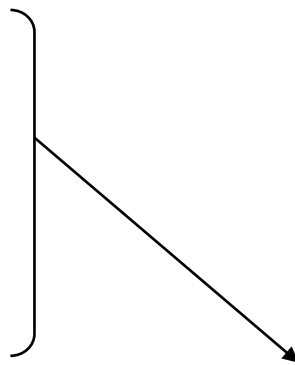
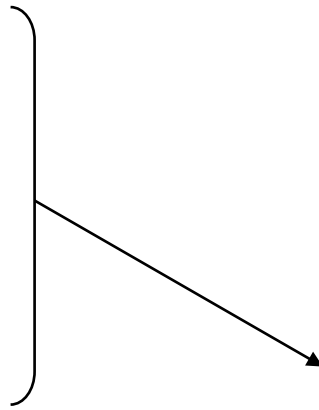
なお、本試験材A-10-1は、暴露試験開始時期および合せ材9-1 キュプロニッケル厚さが異なる以外は、試験材A-14と同様の9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼である。両者の試験材において、長期に渡る暴露試験の結果、極めて良好な耐食性を示すことが確かめられたことは、本研究の大きな成果であるといえる。



施設側（北側）



もらい錆の状況



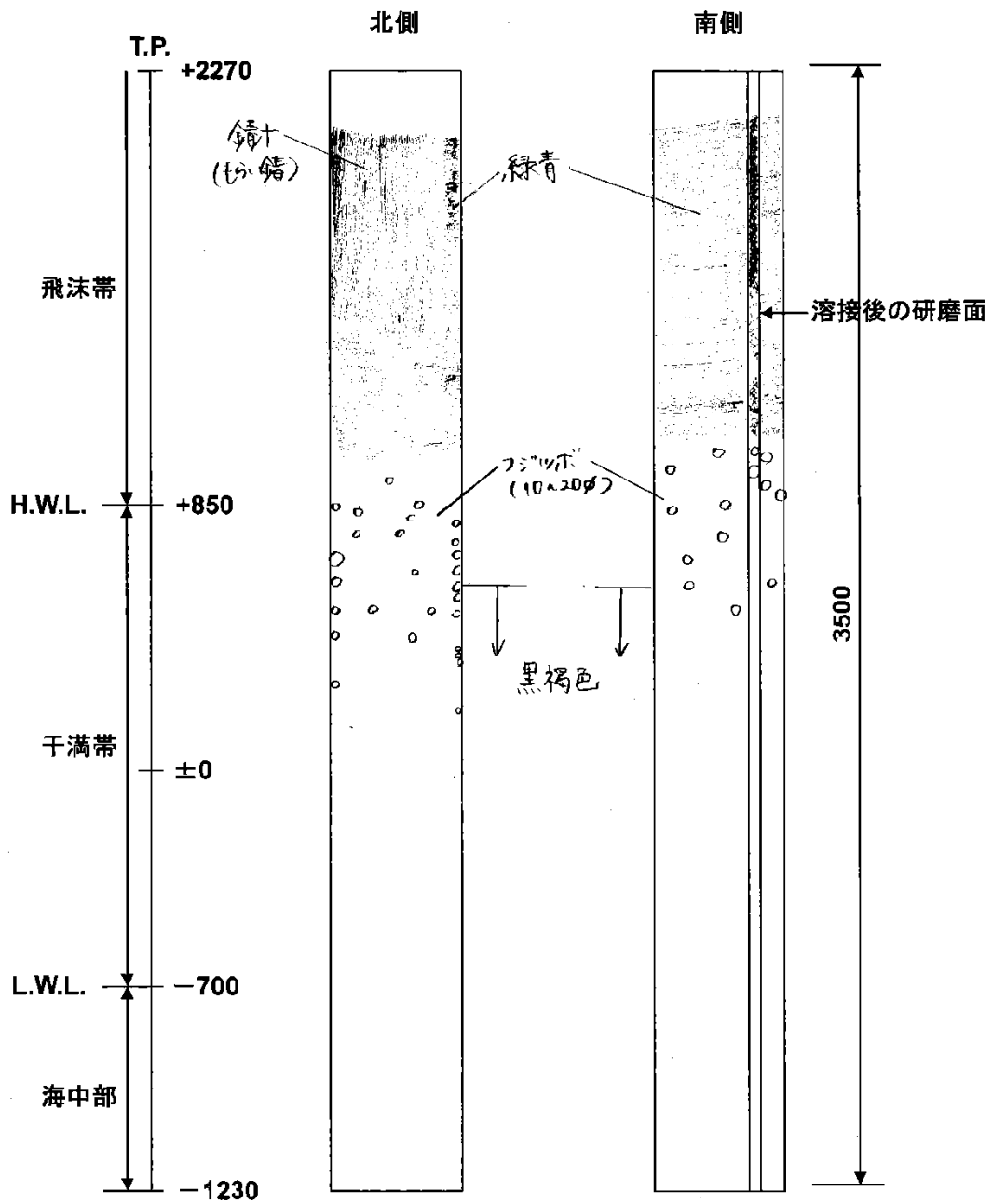
海生生物の付着状況

継続暴露試験材

防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼

防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ 3mm)

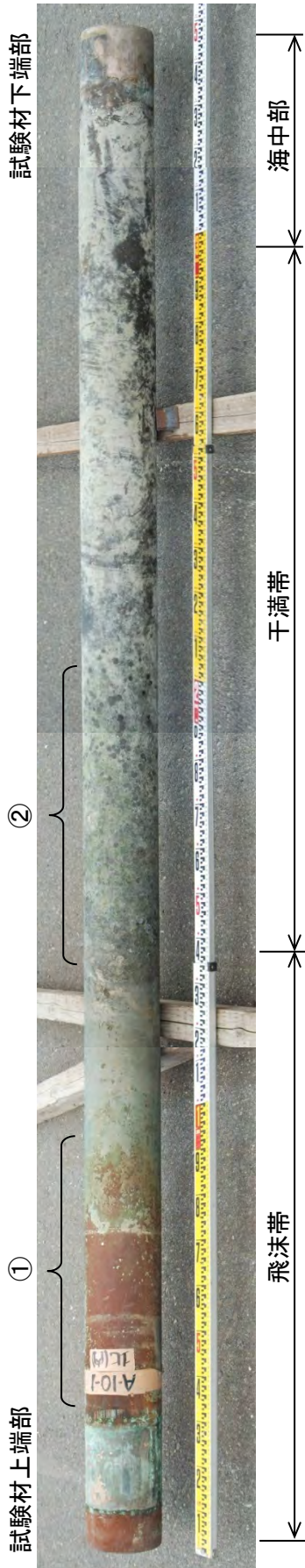
写真-3. 2. 1. 1 試験材 A-10-1 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ 3mm)

図-3.2.1.1 試験材 A-10-1 海生生物除去前の外観スケッチ



① 沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色（茶褐色）と緑青の形成が認められる。



② 干満帯～海中部の試験材素地面は、全体的に暗褐色を呈する。



継続試験材
 防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キュプロニッケル

写真-3.2.1.2 試験材 A-10-1（北面）海生物除去後の外観



① 沫帯の試験材表面には、全体的に緑青の形成が認められる。

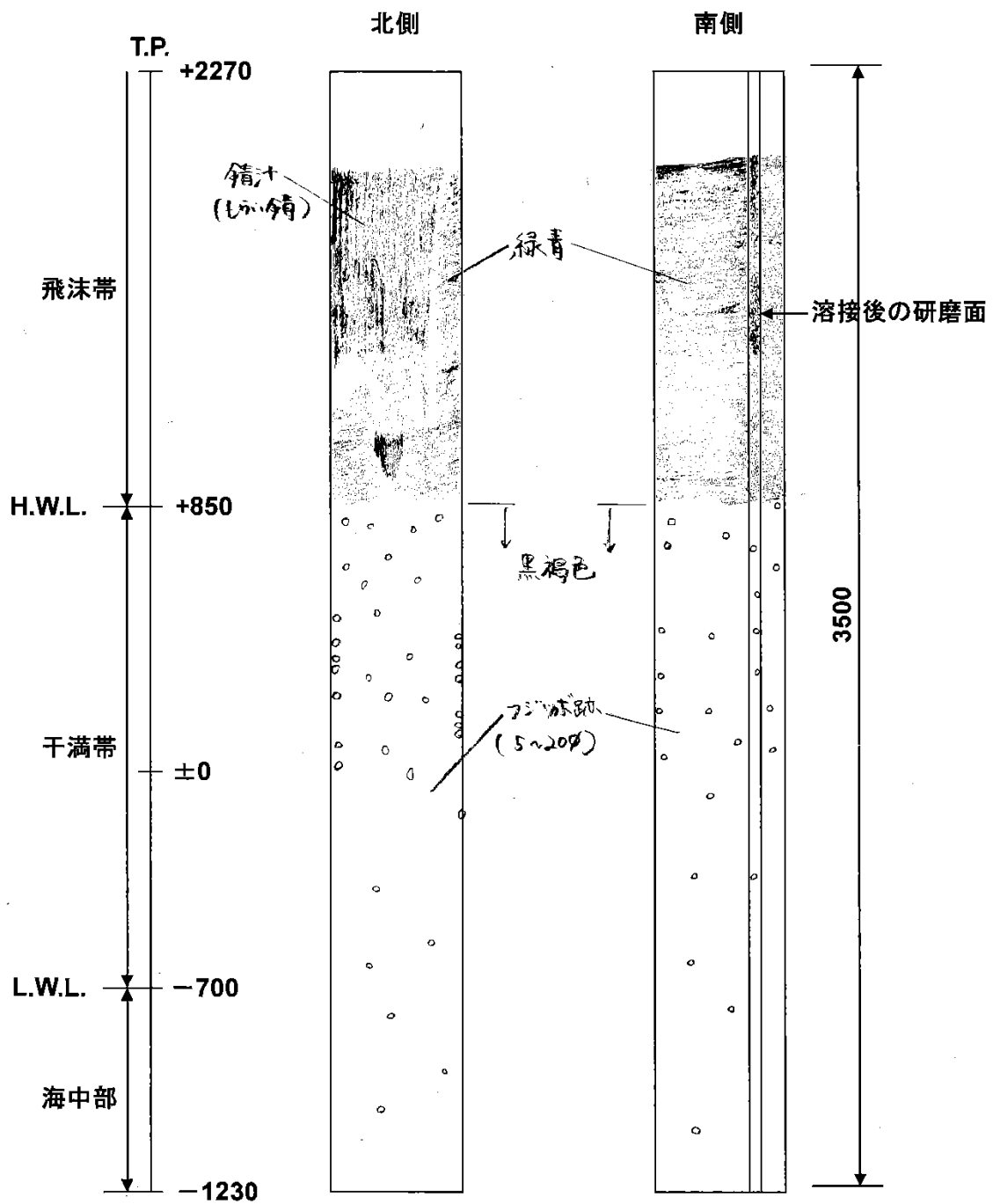


② 干満帯～海中部の試験材素地面は、全体的に暗褐色を呈する。



継続試験材
 防食系：キユプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キユプロニッケル

写真-3.2.1.3 試験材A-10-1 (南面) 海生物除去後の外觀状況

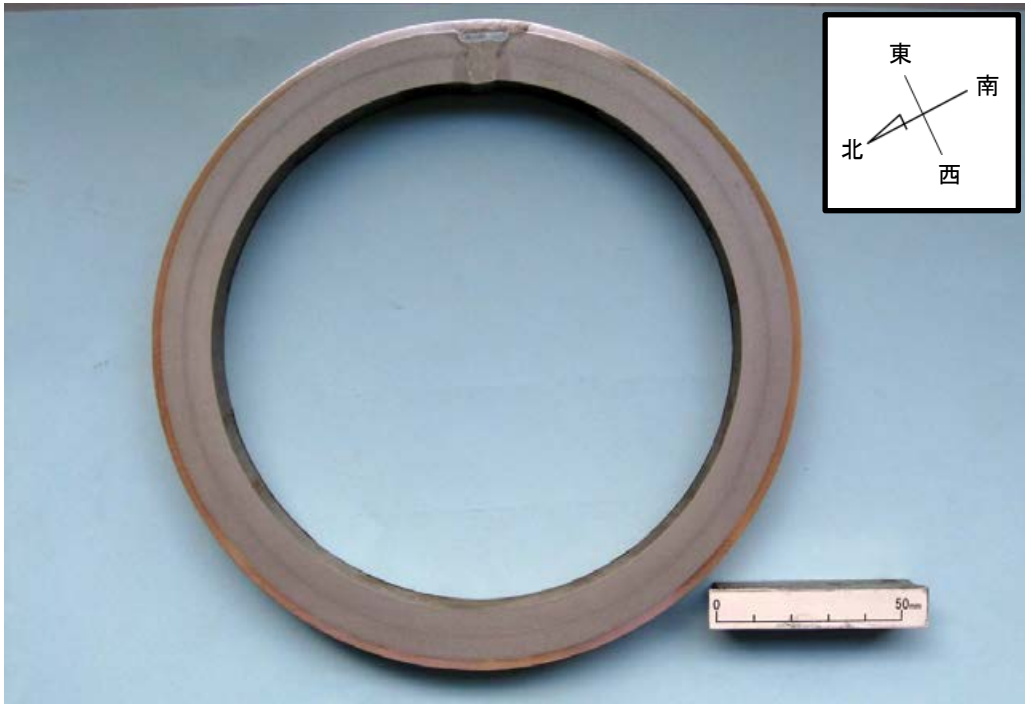


(mm)

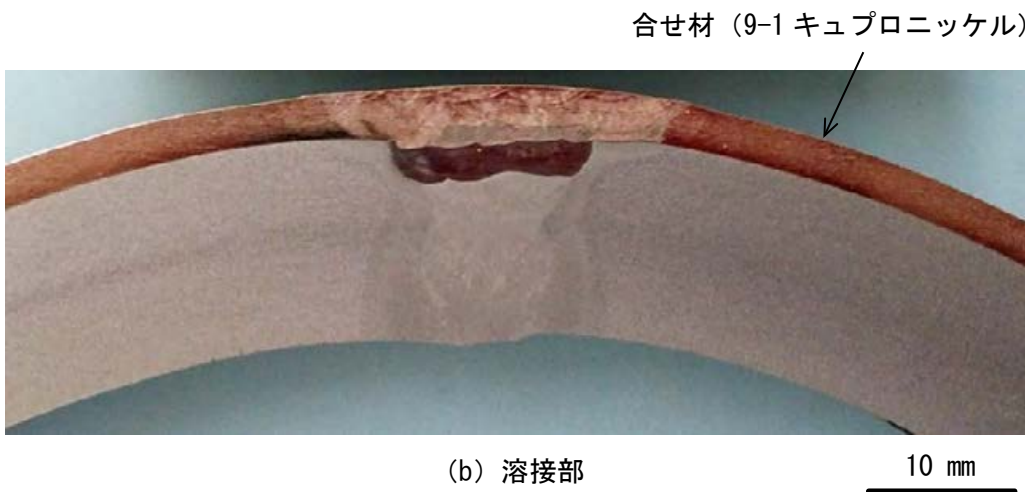
防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼

防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ3mm)

図-3.2.1.2 試験材 A-10-1 海生生物除去後の外観スケッチ



(a) 全体

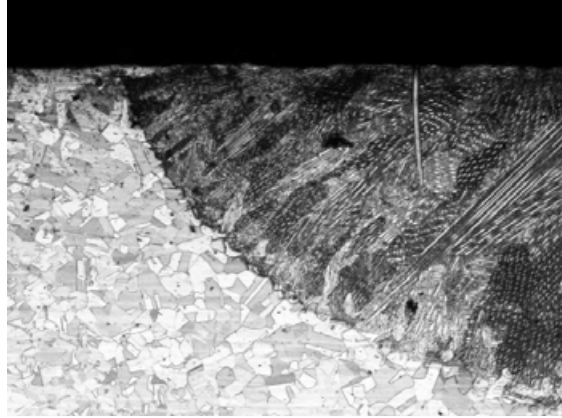
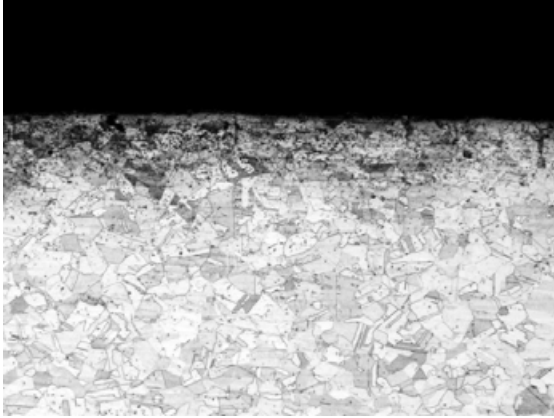


(b) 溶接部

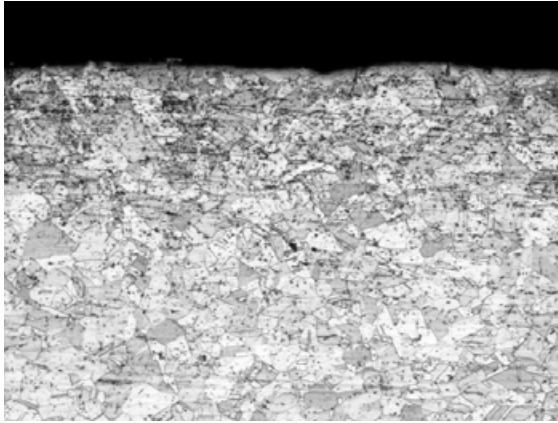
写真-3.2.1.4 試験材 A-10-1 の代表的な断面マクロ写真

合せ材

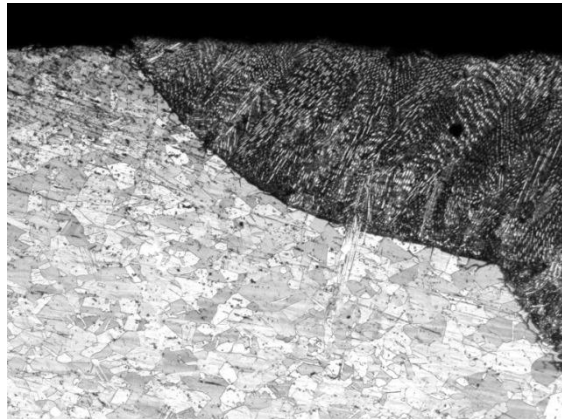
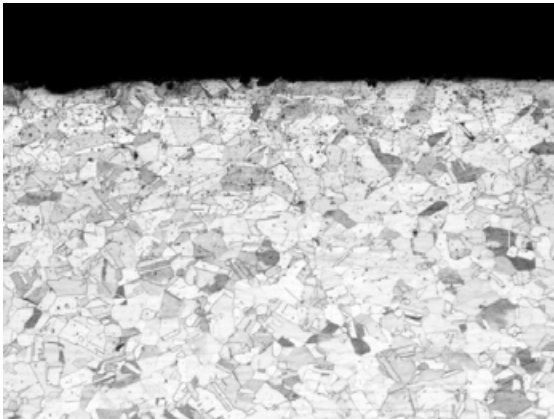
溶接部



(a) 飛沫帯 (上端部より 780 mm)



(b) 干満帯 (上端部より 2030 mm)



(c) 海中部 (上端部より 3280 mm)

200 μ m



写真-3.2.1.5 試験材 A-10-1 断面ミクロ組織写真



フジツボ付着跡の外観写真

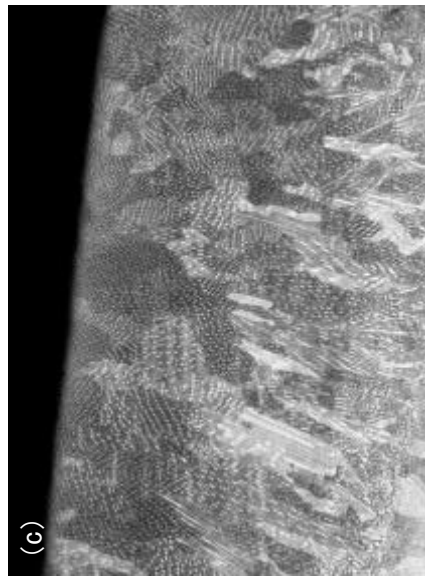
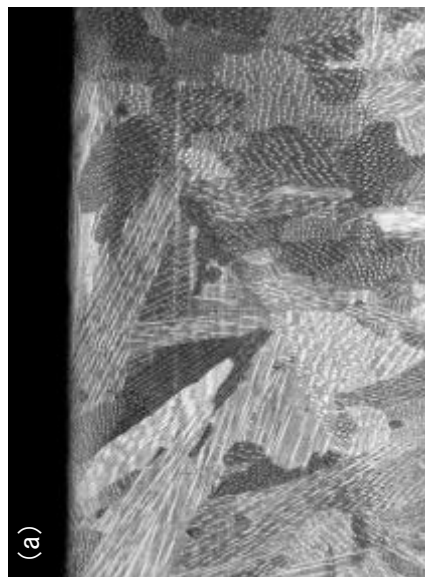


写真-3.2.1.6 試験材 A-10-1 フジツボ付着部の断面ミクロ組織写真
(上端部より 2050 mmの干満帯部)

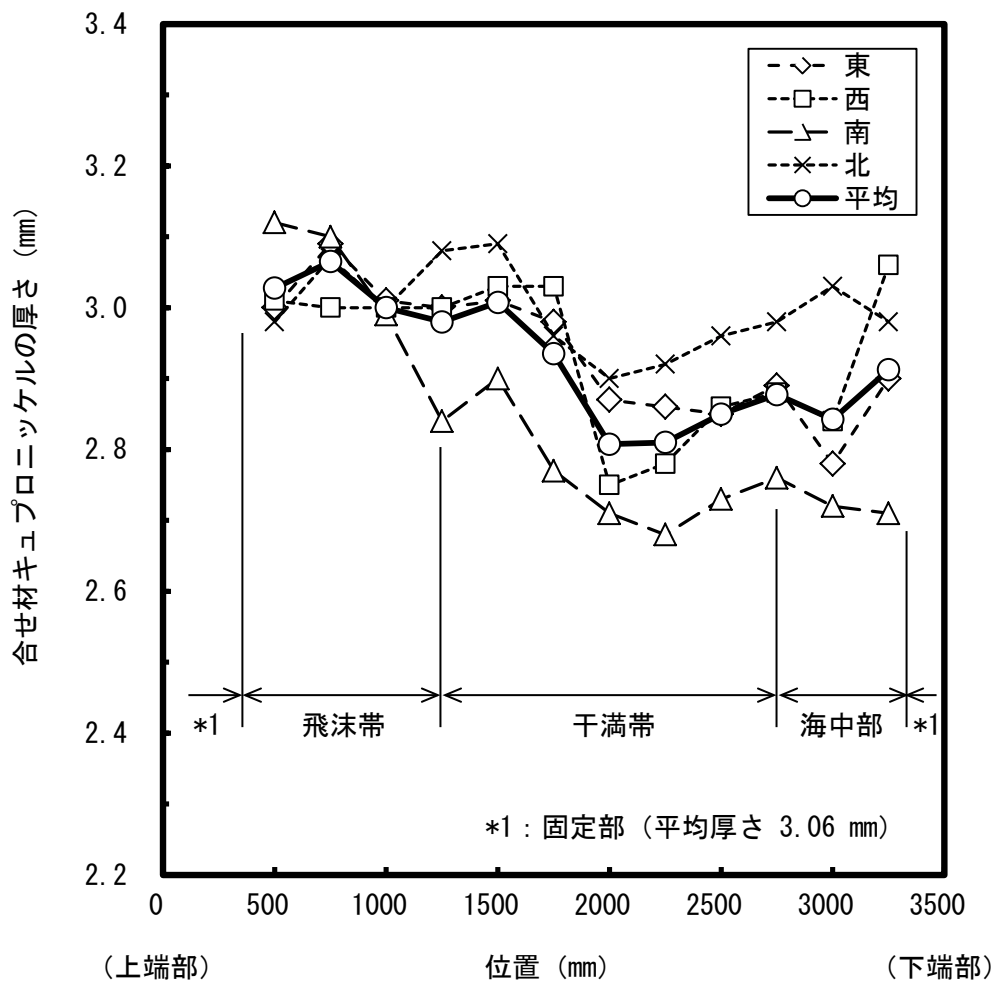


図-3.2.1.3 試験材 A-10-1 合せ材 (キュプロニッケル) の厚さ分布

3.2.2 試験材 A-13-B

3.2.2.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観状況

本試験材は、2008 年度以降、調査が実施されていない。

試験材の外観状況を写真-3.2.2.1、外観スケッチを図-3.2.2.1 に示す。

試験材には上部からのもらい錆による変色（茶褐色）が見られたほか、素管（純チタン管）の周囲に取り付けられた純 Ti 試験片（4 枚）の内側にフジツボ類が侵入・成長し、試験片の変形が生じていることが認められた。海生生物の付着状況は、干満帯（H.W.L.）から干満帯中部にかけて主に $\phi 5 \sim \phi 20\text{mm}$ 程度のフジツボ類が付着している状況であった。

(2)海生生物除去後の外観状況

試験材の外観状況を写真-3.2.2.2 および写真-3.2.2.3、外観スケッチを図-3.2.2.2 に示す。

純チタン試験片と素管（純チタン管）との間に海生生物が侵入・成長し、純チタン試験片が浮き上がり、変形している状況が認められたが、素管との溶接部には破断や亀裂などの異状は見られなかった。素管の一般部も海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。



施設側（東）

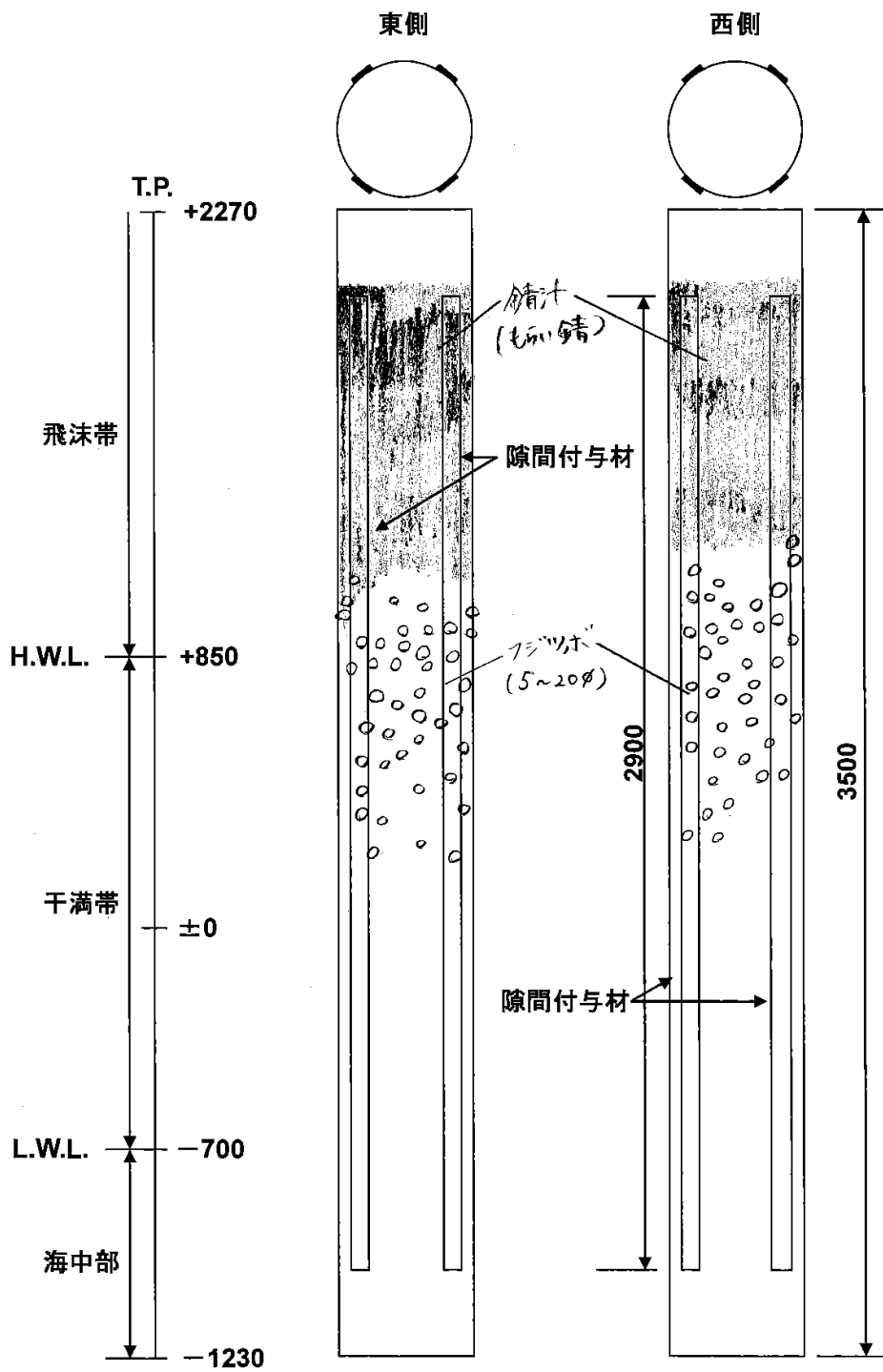


純チタン片部の海生生物付着状況

防食系：チタン板溶接

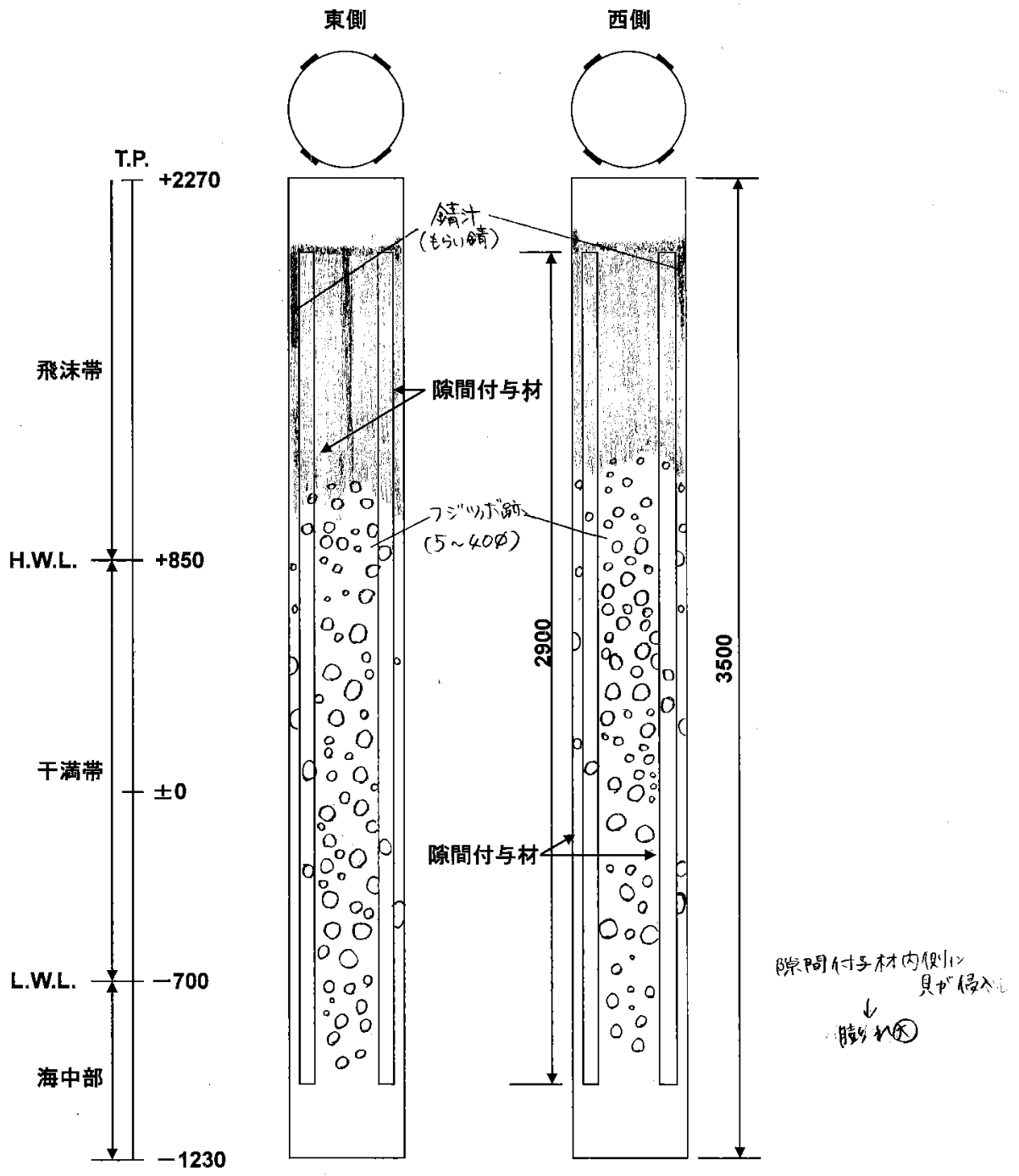
防食仕様：純チタン+純チタン片(溶接)

写真-3.2.2.1 試験材 A-13-B 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

図-3.2.2.1 試験材 A-13-B 海生生物除去前の外観図



(mm)

図-3. 2. 2. 2 試験材 A-13-B 海生生物除去後の外観図

①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



チタン被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は見られず、健全な状態である。

②海生生物の侵入により、素管に溶接された純チタン試験片に変形が認められる



継続試験材
防食系:チタン板溶接
防食仕様:純チタン+純チタン片(溶接)

写真-3.2.2.2 試験材 A-13-B (東面) 海生生物除去後の外観状況

①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



チタン被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は見られず、健全な状態である。

②海生生物の侵入により、素管に溶接された純チタン試験片に変形が認められる



継続試験材
防食系:チタン板溶接
防食仕様:純チタン+純チタン片(溶接)

写真-3.2.2.3 試験材 A-13 (西面) 海生生物除去後の外観状況

3.2.2.2 A-13-B 材のまとめ

A-13-B 材には、飛沫帯におけるもらい錆および海生生物によるチタン試験材の隙間への進入が認められたが、チタン材自身には、隙間腐食などの局部腐食は認められず良好な耐食性を示している。

3.2.3 試験材 A-13-C

3.2.3.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観状況

本試験材は、2008年度以降、調査が実施されていない。

試験材の外観状況を写真-3.2.3.1、外観スケッチを図-3.2.3.1に示す。

試験材には上部からのもらい錆による変色（茶褐色）が見られたほか、素管（純チタン管）の周囲に取り付けられたチタン合金試験片（3枚）の内側にフジツボ類が侵入・成長し、試験片の変形が生じていることが認められた。海生生物の付着状況は、干満帯（H. W. L.）から干満帯中部にかけて主にφ2～φ20mm程度のフジツボ類が付着している状況であった。

(2)海生生物除去後の外観状況

試験材の外観状況を写真-3.2.3.2および写真-3.2.3.3、外観スケッチを図-3.2.3.2に示す。

チタン合金試験片と素管（純チタン管）との間に海生生物が侵入・成長し、純チタン試験片が若干浮き上がり、変形している状況が認められたが、素管との溶接部には破断や亀裂などの異状は見られなかった。素管の一般部も海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。



施設側(東)

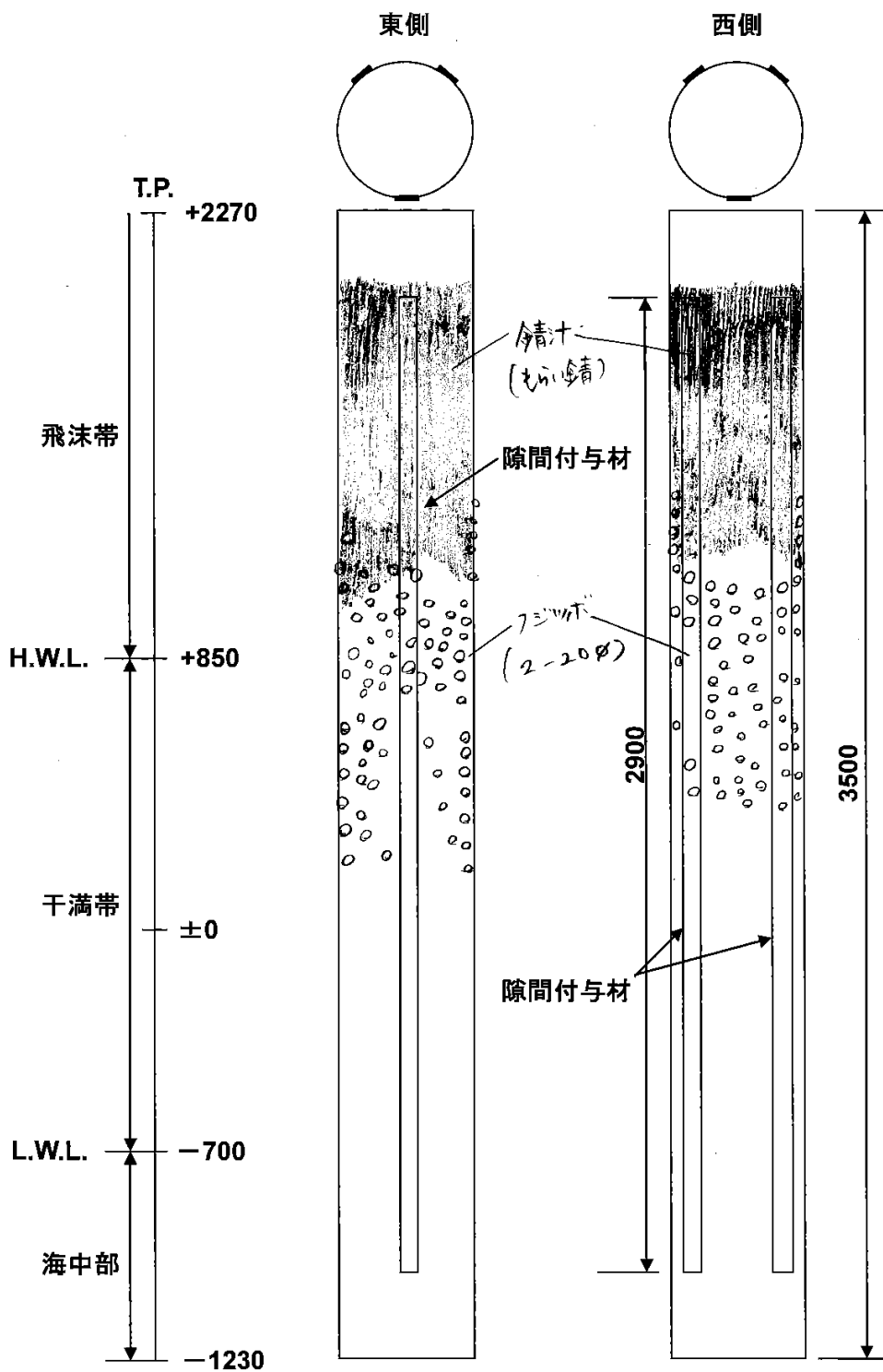


チタン合金片部の生物付着状況

防食系：チタン板溶接

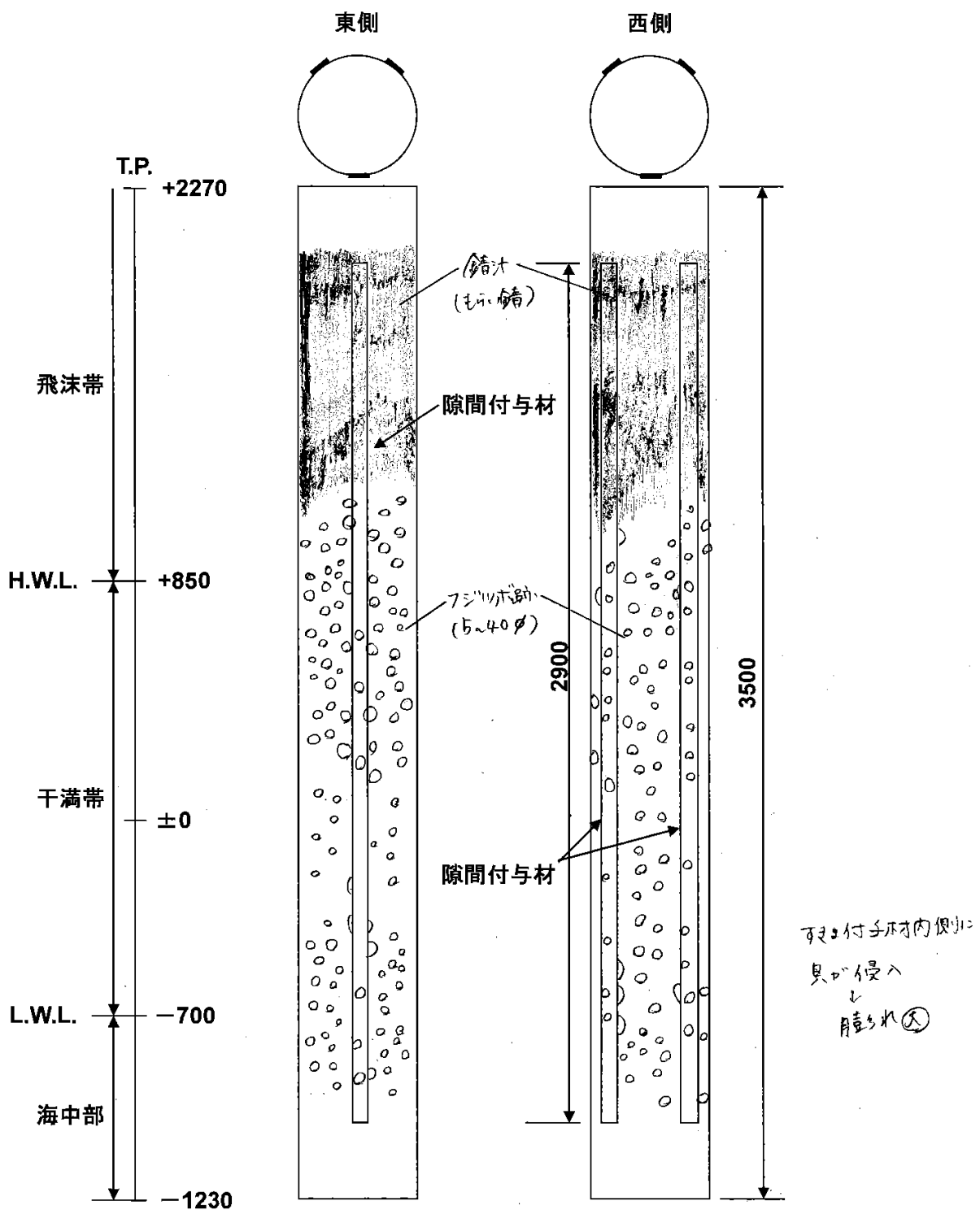
防食仕様：純チタン+チタン合金片(溶接)

写真-3. 2. 3. 1 試験材 A-13-C 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

図-3.2.3.1 試験材 A-13-C 海生生物除去前の外観図



(mm)

図-3.2.3.2 試験材 A-13-C 海生生物除去後の外観図

①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



チタン被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は見られず、健全な状態である。

②海生生物の侵入により、素管に溶接されたチタン合金試験片に若干変形が認められる



継続試験材
防食系:チタン板溶接
防食仕様:純チタン+チタン合金片(溶接)

写真-3.2.3.2 試験材 A-13-C (東面) 海生生物除去後の外観状況

①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



チタン被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は見られず、健全な状態である。

②海生生物の侵入により、素管に溶接されたチタン合金試験片に若干変形が認められる



継続試験材
防食系:チタン板溶接
防食仕様:純チタン+チタン合金片(溶接)

写真-3.2.3.3 試験材 A-13-C (西側) 海生生物除去後の外観状況

3.2.3.2 A-13-C 材のまとめ

A-13-C 材には、飛沫帯におけるもらい錆および海生生物によるチタン試験材の隙間への進入が認められたが、チタン材自身には、隙間腐食などの局部腐食は認められず良好な耐食性を示している。

3.2.4 試験材 A-14

3.2.4.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況写真を写真-3.2.4.1、外観スケッチを図-3.2.4.1に示す。飛沫帯の上部は、研究施設との固定部からのもらい錆により茶褐色を呈していた。飛沫帯の下部から干満帯中央部は、薄い緑青色の錆で覆われていた。干満帯には、海生生物の脱落した痕跡が見られたものの、付着していた大型海生生物は干満帯上部に見られたわずかな量のフジツボ類（ $\phi 5 \sim \phi 20$ mm）だけであった。干満帯中央部から海中部にかけては、黒褐色の藻類のようなものが付着していた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況写真を写真-3.2.4.2および写真-3.2.4.3、外観スケッチを図-3.2.4.2に示す。飛沫帯の上部は研究施設との固定部からのもらい錆により茶褐色を呈していた。飛沫帯から干満帯上部にかけては薄い緑青色、干満帯中央部から海中部にかけては薄い茶色を呈していた。干満帯上部から中央部にかけてのフジツボ類（ $\phi 5 \sim \phi 20$ mm）の付着跡は、銅系の金属光沢をもつ素地面となっていたが、局部腐食は認められず、その他の部分においても問題となるような腐食は認められなかった。

(3) 溶接部の外観観察

溶接部については、海生生物の付着状況は周辺の部分と大差はなく、局部腐食も認められず、健全な状態であった。

3.2.4.2 詳細調査

3.2.4.2.1 詳細調査方法

詳細調査では、試験材を長手方向に約 250 mm 間隔で切断して、断面観察による局部腐食状況の調査および合せ材キュプロニッケルの厚さ測定による全面腐食状況の調査を行った。なお、試験材の両端部、すなわち上端部から約 300 mm と下端部から約 150 mm の範囲は、試験材を研究施設に設置するための固定具とのつなぎ部分であることから、調査からは除外した。

3.2.4.2.2 詳細調査結果

(1) 断面マクロ観察

試験材の代表的な断面マクロ写真を写真-3.2.4.4に示す。飛沫帯、干満帯および海中部のいずれにおいても、溶接部も含めて、合せ材 9-1 キュプロニッケルに局部腐食は認められなかった。

(2) 断面ミクロ組織観察

試験材の断面ミクロ組織を写真-3.2.4.5に示す。飛沫帯、干満帯および海中部のいずれの位置においても、合せ材および溶接部に局部腐食は認められなかった。フジツボ付着部の断面ミクロ組織写真を写真-3.2.4.6に示す。フジツボ付着部についても、局部腐食は認められなかった。

(3) 板厚測定

試験材の板厚測定結果を図-3.2.4.3に示す。合せ材厚さは、平均値で約 2.0~2.2 mm であった。干満帯から海中部は、飛沫帯に比べて若干薄くなっていた。試験開始当時の初期厚さは正確には判らないが、腐食環

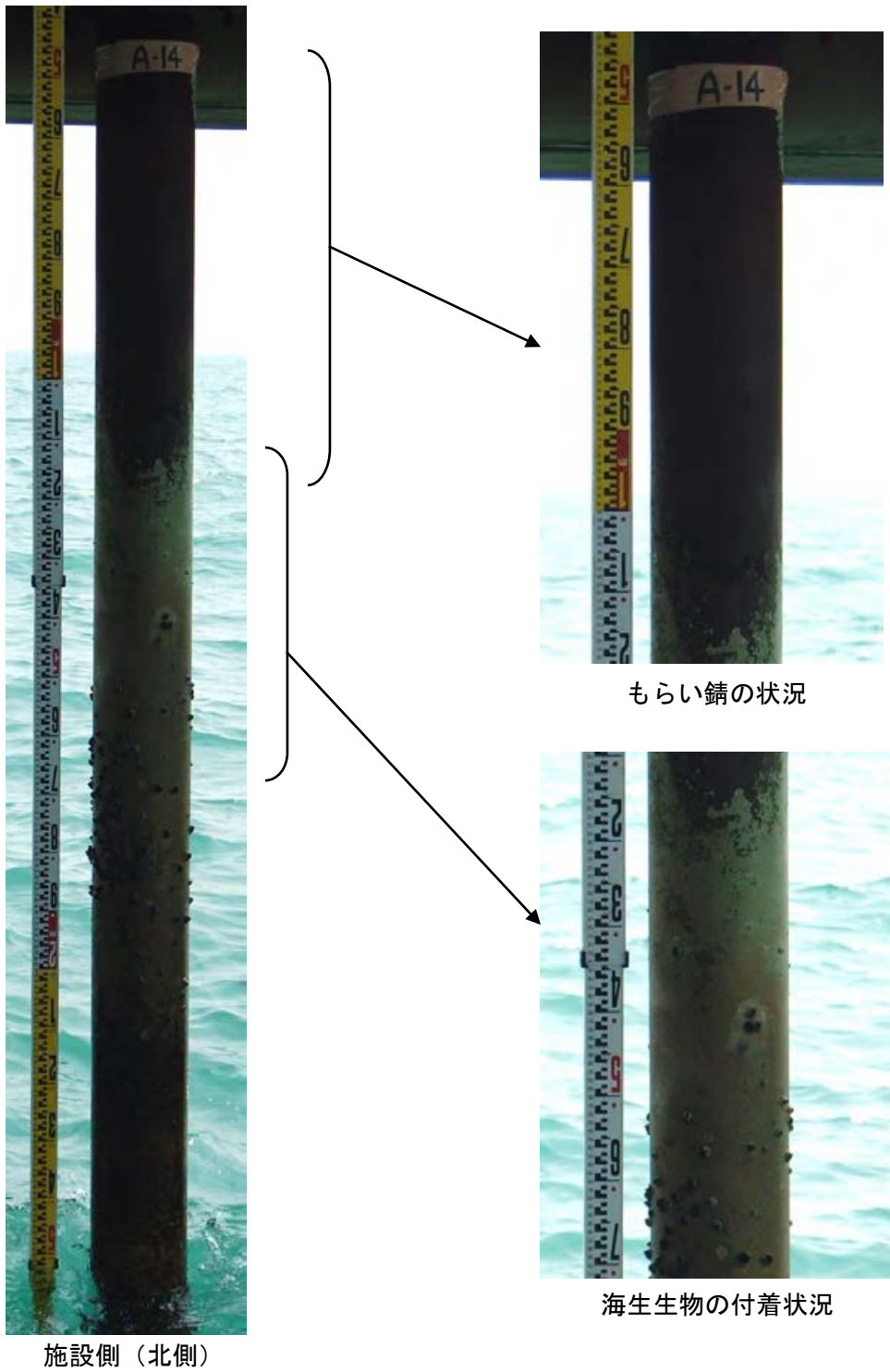
境にさらされていない上端および下端の試験材の固定部の厚さ（平均で約 2.18 mm）を基準とすると、全面腐食による減肉は、飛沫帯ではほとんど生じておらず、干満帯から海中部で生じていることが判った。干満帯から海中部は平均で約 0.2 mmの減肉であると考えられる。暴露期間 22 年間における干満帯から海中部の腐食速度は約 0.01 mm/year であり、長期間に渡って極めて良好な耐食性を示すことが確かめられた。なお、厚さの測定結果が方位によって若干異なっているが、製造時の元々の厚さ分布の違いによるものであり、海洋上の方角の違いによるものではないと思われる。

3.2.4.3 まとめ

1991～2013 年の 22 年間の長期に渡って暴露試験に供された試験材 A-14（9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼）の調査結果より、以下のことが判った。

- (1) フジツボ等の海生生物の付着は、干満帯に極わずかにみられるだけであり、大きな海生生物の付着は見られない。
- (2) フジツボ類の付着部や溶接部も含めて、試験材には局部腐食等は認められず、健全な状態である。
- (3) 全面腐食による減肉は、飛沫帯ではほとんど生じておらず、干満帯から海中部で生じている。干満帯から海中部の減肉量は、平均で約 0.2 mm である。腐食速度は約 0.01 mm/year であり、本 9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼は極めて良好な耐食性を示すことが確かめられた。

なお、本試験材 A-14 は、暴露試験開始時期および合せ材 9-1 キュプロニッケル厚さが異なる以外は、試験材 A-10-1 と同様の 9-1 キュプロニッケル圧延クラッド鋼である。両者の試験材において、長期に渡る暴露試験の結果、極めて良好な耐食性を示すことが確かめられたことは、本研究の大きな成果であるといえる。



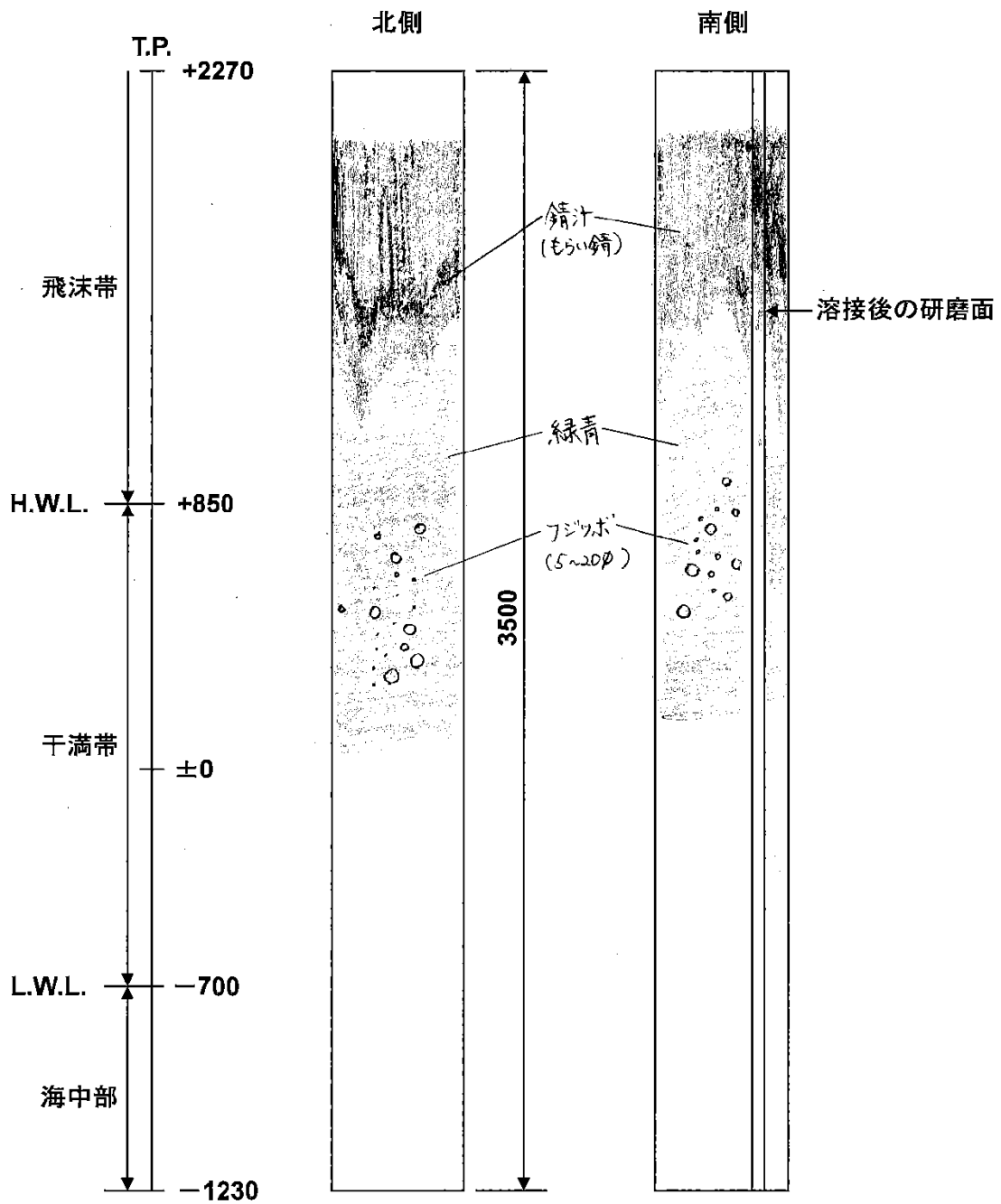
施設側（北側）

継続暴露試験材

防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼

防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ 2mm)

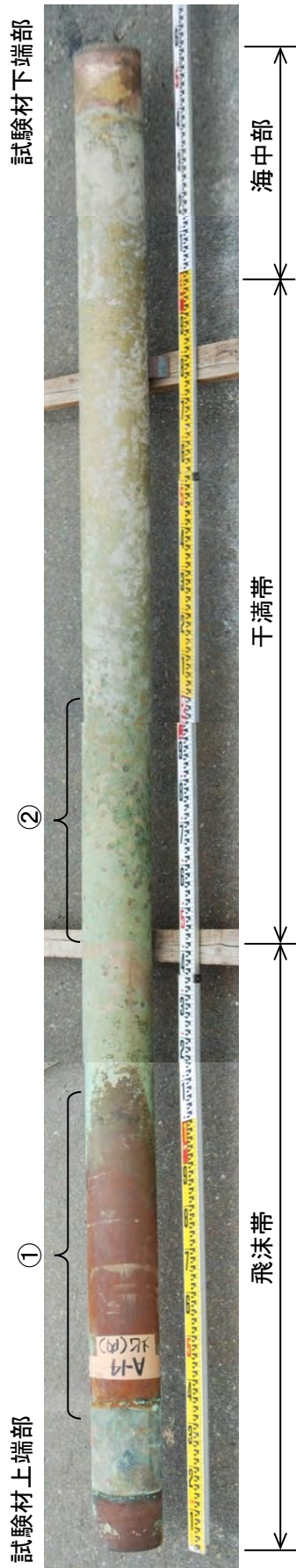
写真-3.2.4.1 試験材 A-14 海生生物除去前の外観状況写真



(1111)

防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ 2mm)

図-3.2.4.1 試験材 A-14 海生生物除去前の外観スケッチ



①飛沫帯はもらい錆による変色（茶褐色）が認められる



②干満帯上部に海生生物（フジツボ）の付着痕が認められる



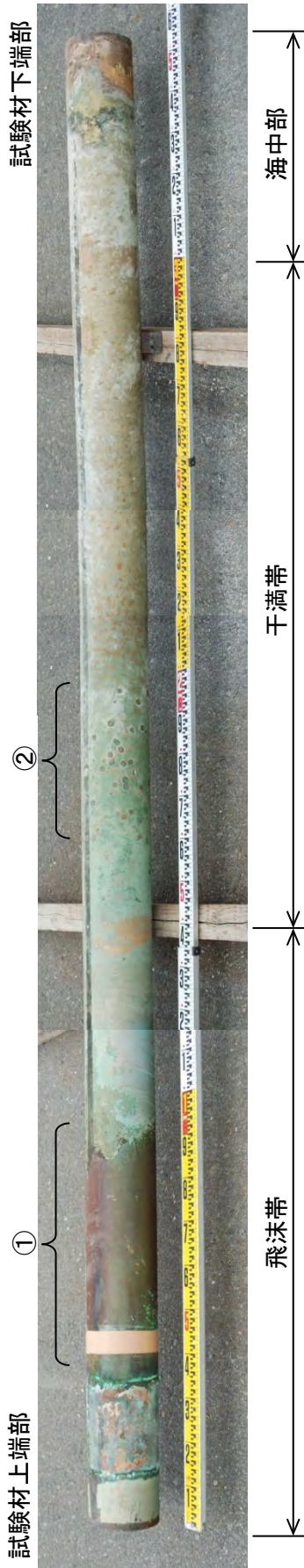
- ・飛沫帯～干満帯上部は、青緑色を呈する
- ・干満帯中部～海水中は、薄い茶色を呈する

継続試験材

防食系：キユプロニッケル圧延クラッド鋼

防食仕様：9-1 キュプロニッケル

写真-3.2.4.2 試験材 A-14（北面）海生生物除去後の外観状況



① 飛沫帯は、もらい錆による変色（茶褐色）が一部認められる。



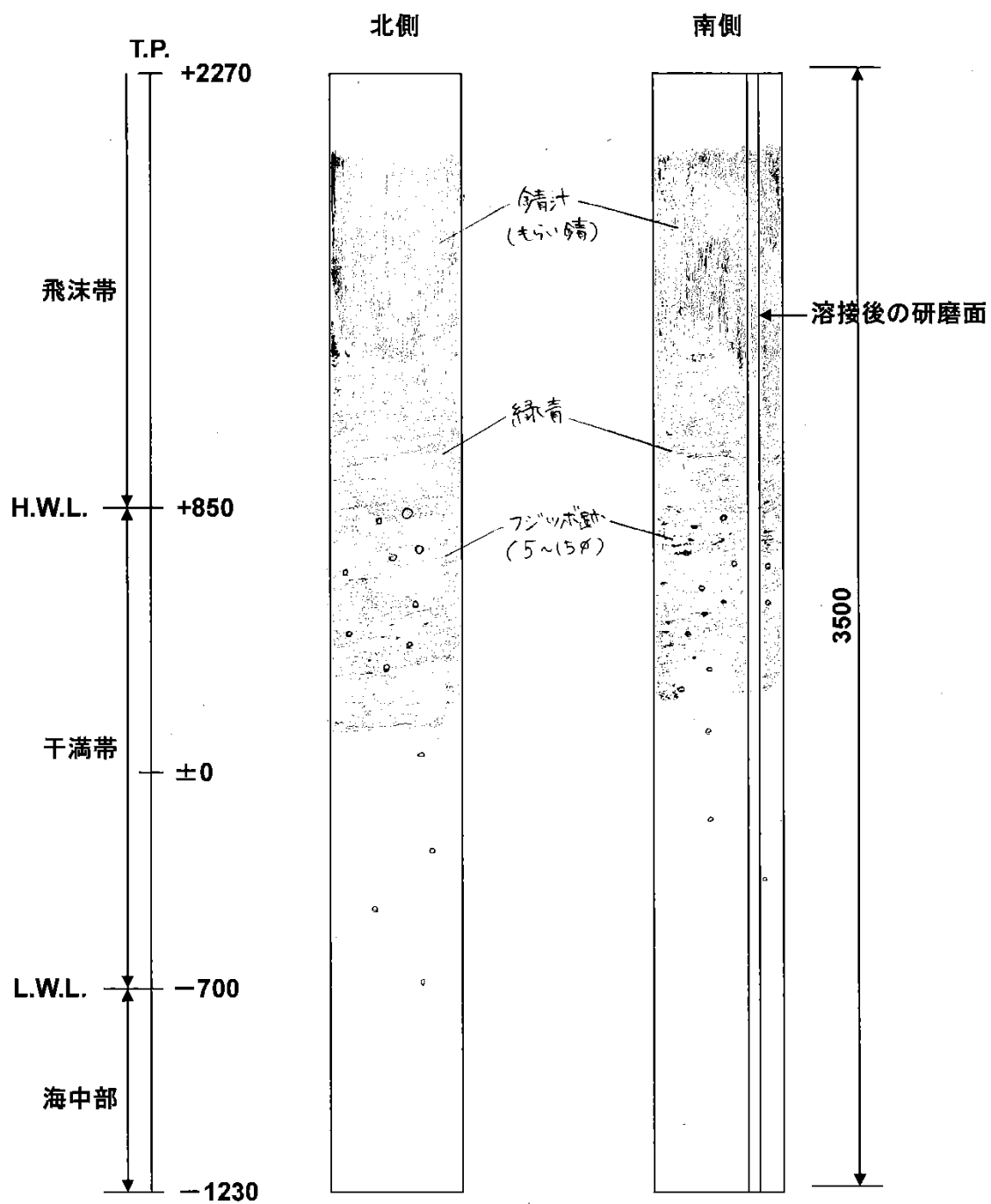
② 干満帯上部に海生生物（フジツボ）の付着痕が認められる。



- ・ 飛沫帯～干満帯上部は、青緑色を呈する。
- ・ 干満帯中部～海水中は、薄い茶色を呈する。

継続試験材
 防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キュプロニッケル

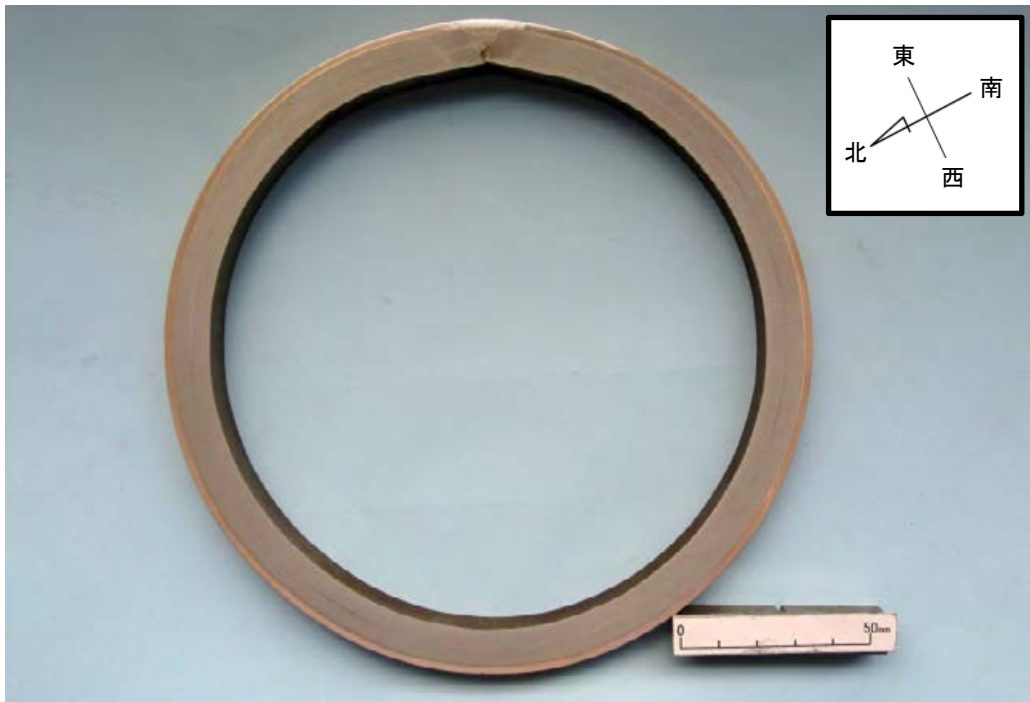
写真-3. 2. 4. 3 試験材 A-14（南面）海生生物除去後の外観状況



(mm)

防食系：キュプロニッケル圧延クラッド鋼
 防食仕様：9-1 キュプロニッケル(厚さ 2mm)

図-3.2.4.2 試験材 A-14 海生生物除去後の外観スケッチ



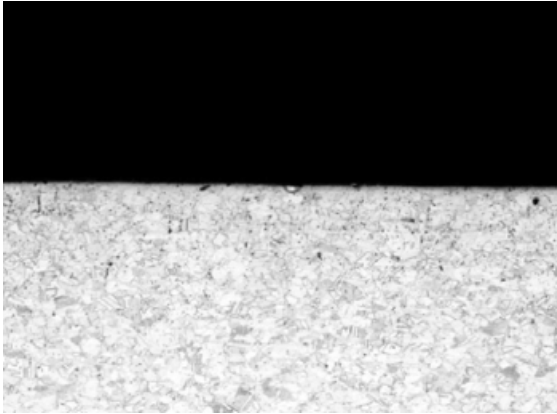
(a) 全体



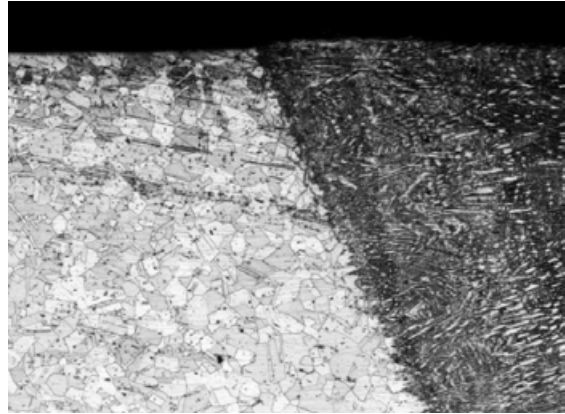
(b) 溶接部

写真-3.2.4.4 試験材 A-14 の代表的な断面マクロ写真

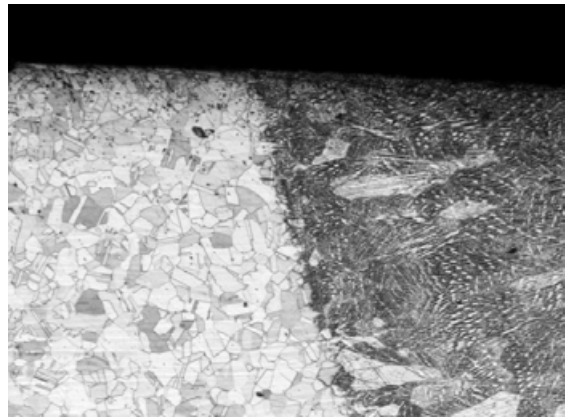
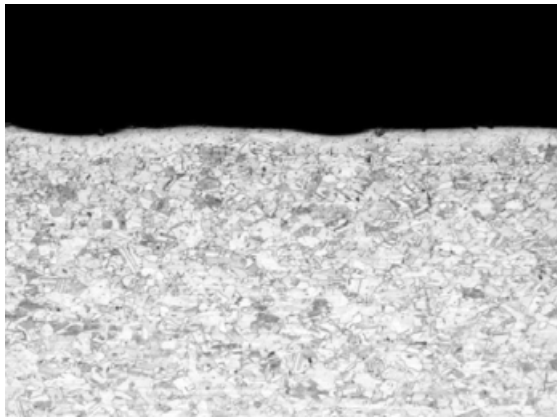
合せ材



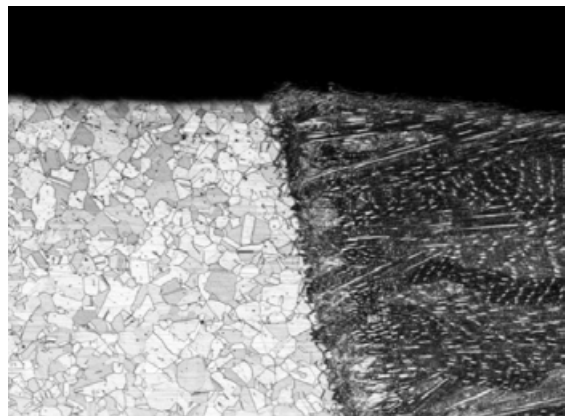
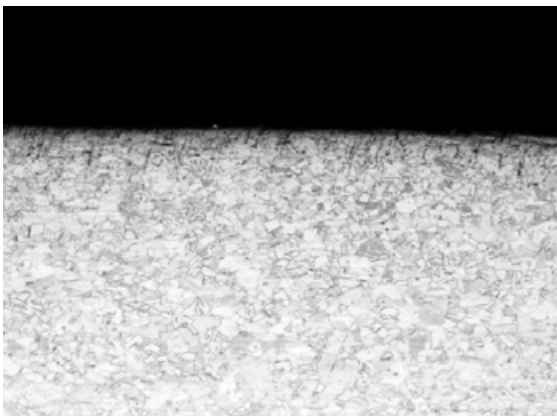
溶接部



(a) 飛沫帯 (上端部より 780 mm)



(b) 干満帯 (上端部より 2030 mm)



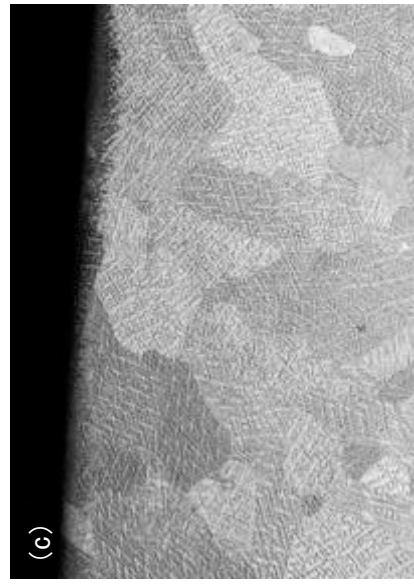
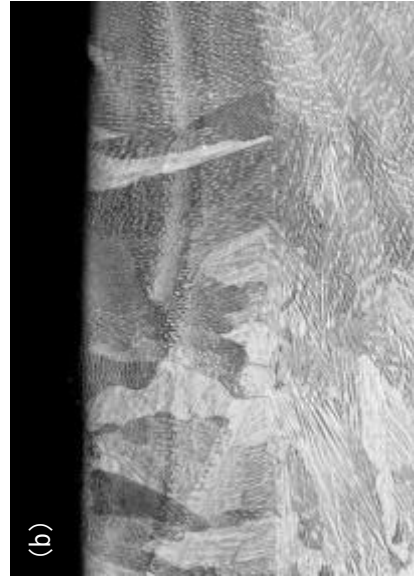
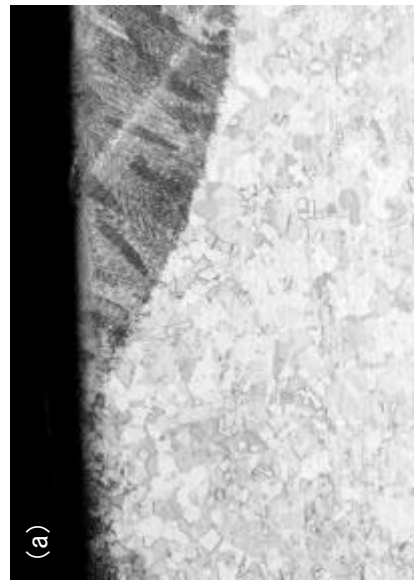
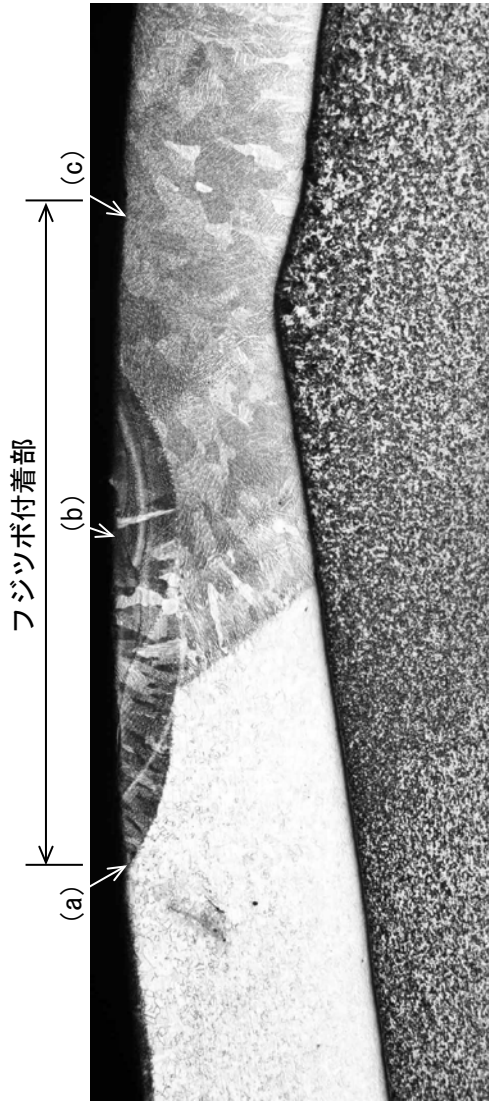
(c) 海中部 (上端部より 3280 mm)

200 μ m

写真-3.2.4.5 試験材 A-14 断面ミクロ組織写真



フジツボ付着跡の外観写真



200 μm

写真-3.2.4.6 試験材 A-14 フジツボ付着部の断面ミクロ組織写真
(上端部より 2300 mmの干渉帯部)

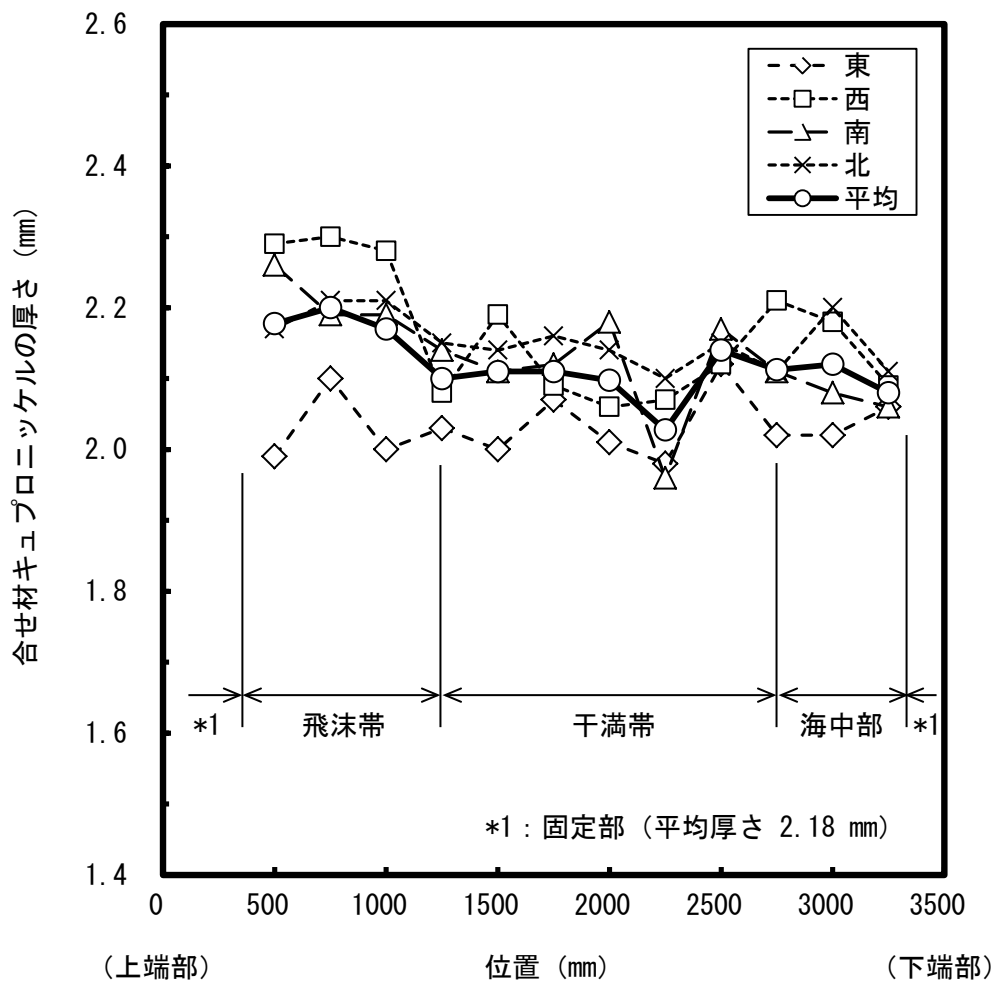


図-3.2.4.3 試験材 A-14 合せ材（キュプロニッケル）の厚さ測定結果

3.2.5 試験材 C-1

3.2.5.1 現地調査

試験材C-1は、海洋環境での長期耐久性を有し、衝撃や傷に対して強い防食材料としてチタンクラッド鋼について長期の耐久性を評価することを目的とする。写真-3.2.5.1 に外観状況を、図-3.2.5.1 に外観スケッチを示す。塗装部(エポキシ 60 μ m \times 2+フッ素 30+25 μ m)は、上部からのもらい錆による変色で全面が赤茶色を呈していた。また、西側面において、鋼材部、チタン部に各1箇所、 ϕ 40mm程度の塗膜はがれが見られ、鋼材部のはがれ箇所は腐食が発生していた。1996年(暴露5年後)から生じ始めたチタン上のふくれは、さらに増加していたが、このふくれが西側面の塗膜はがれに進展したようには見えなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類(ϕ 1 \sim ϕ 20)と一部にイガイが付着している状況であった。

海生生物除去後の試験材の外観スケッチを図-3.2.5.2 に示す。また、外観状況を写真-3.2.5.2、写真-3.2.5.3、写真-3.2.5.4、写真-3.2.5.5 に示す。チタンクラッド部には多量のフジツボ類の付着跡が見られたが、付着下ですきま腐食などの局部腐食は認められず、健全な状態であった。海中部のタールエポキシ塗装部は、塗膜の剥離が多数見られたが、電気防食の効果により鋼材の腐食は生じておらず、健全な状態であった。チタン溶接部も一般部と同様に、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

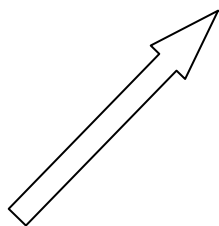
試験材の電位測定結果を表-3.2.5.1 に示す。今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1079 \sim -1088mV vs. SCEであり、2011年測定時に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.2.5.1 試験材C-1の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1083	-1085	-1085	-1083	-1084
2008年	—	-1090	-1093	-1090	-1095	-1092
2011年	-1078	-1080	-1080	-1081	-1082	-1080
2013年	-1084	-1087	-1088	-1085	-1079	-1084



西側面の塗膜はがれ状況



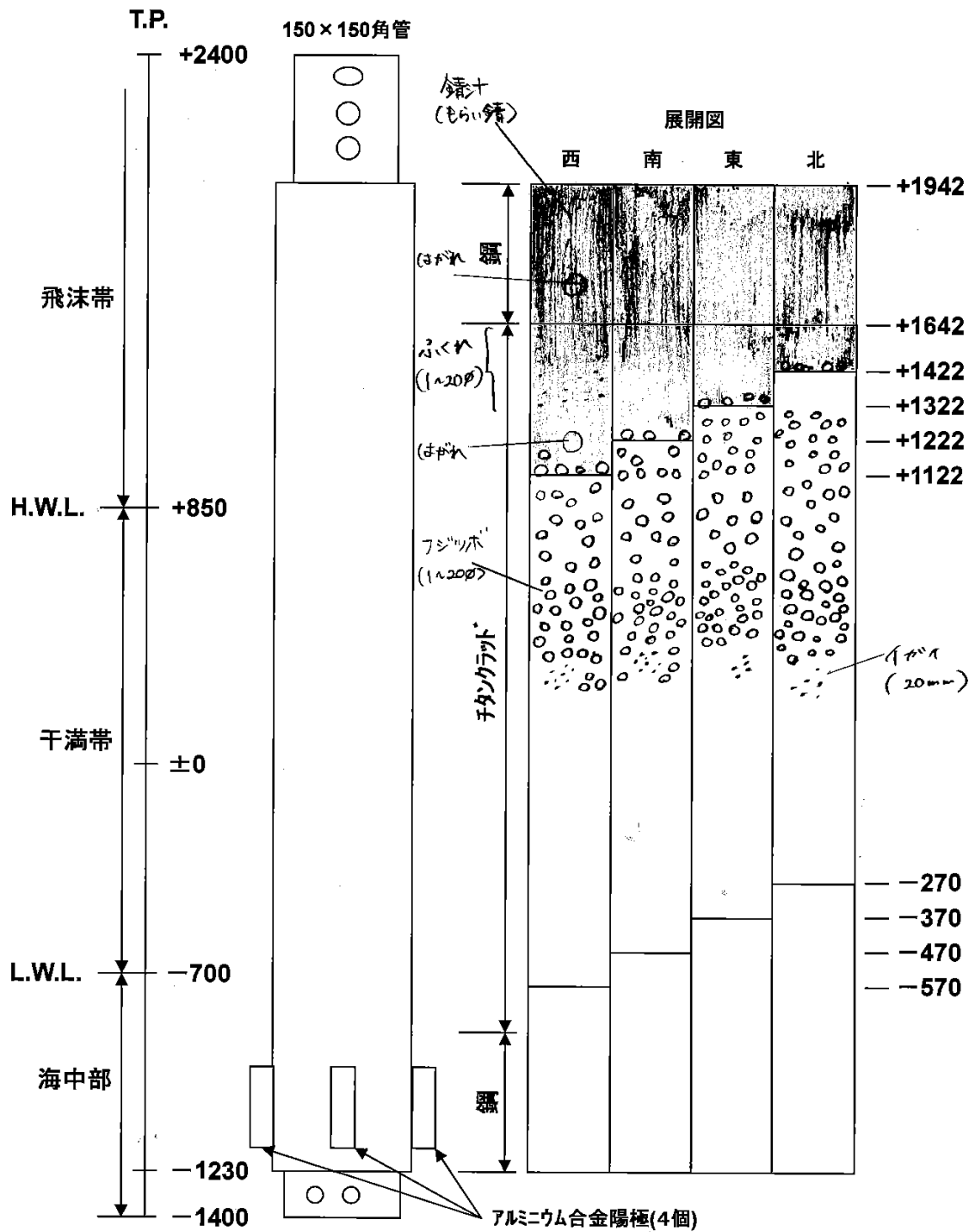
施設側(南側)

継続暴露試験材

防食系:チタンクラッド

防食仕様:Ti+塗装+電気防食

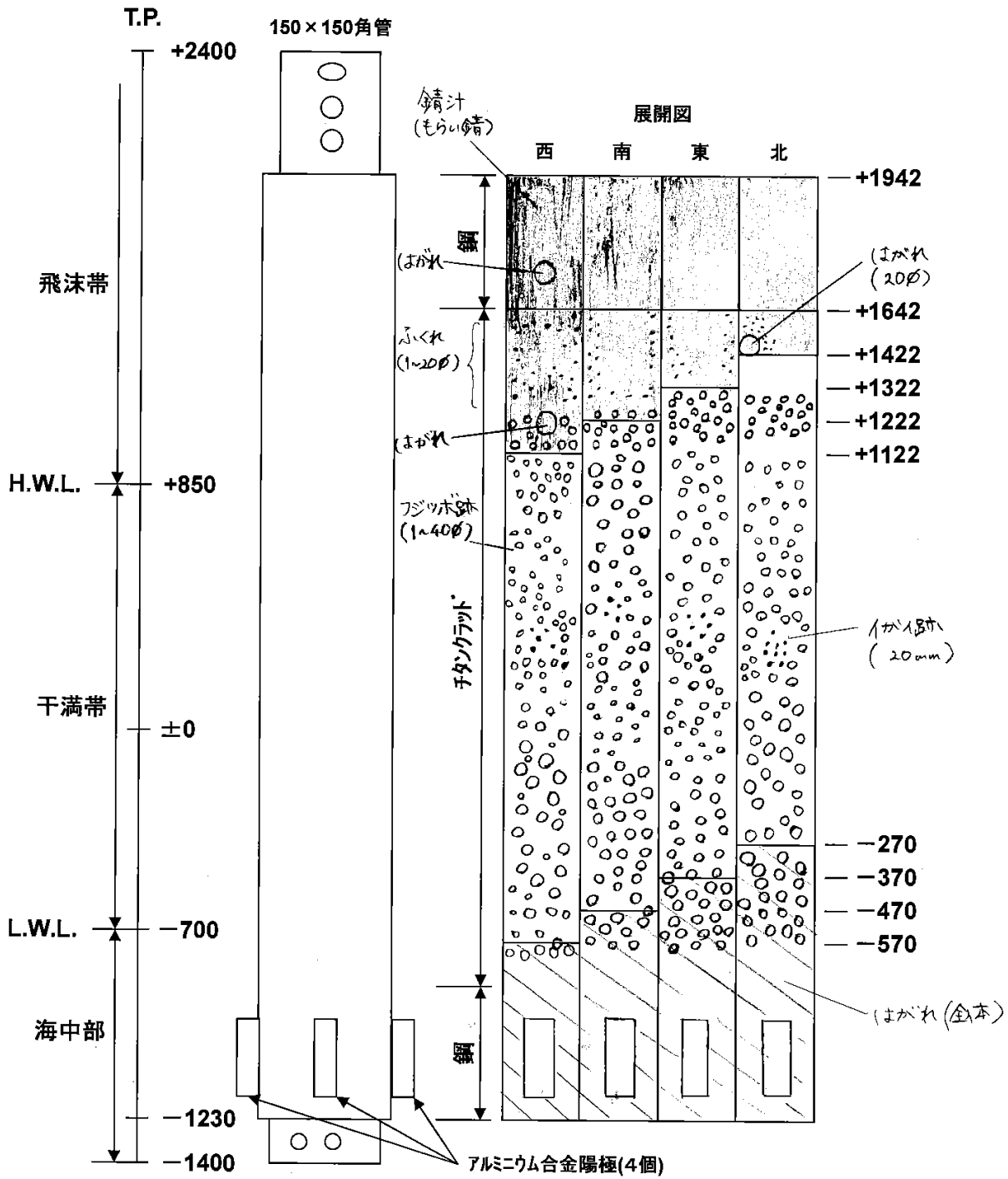
写真-3.2.5.1 試験材 C-1 海生生物除去前の外観状況写真



防食系:チタンクラッド

防食仕様:Ti+塗装+電気防食

図-3.2.5.1 試験材C-1 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系:チタンクラッド

防食仕様:Ti+塗装+電気防食

図-3.2.5.2 試験材C-1 海生生物除去後の外観図



①塗膜のはがれ(φ20)



②塗膜のはがれ(φ20)



②塗膜のふくれ(φ1~φ20)



③タールエポキシ塗装部のはがれ



継続試験材

防食系:チタンクラッド

防食仕様:Ti+塗装+アルミニウム合金陽極

写真-3.2.5.2 試験材 C-1 海生生物除去後の外観 (西側)



①エポキシ塗膜のふくれ(φ1~φ5)



③タールエポキシ塗膜のはがれ



②溶接部状況(局部腐食なし)



継続試験材

防食系:チタンクラッド

防食仕様:Ti+塗装+アルミニウム合金陽極

写真-3.2.5.3 試験材 C-1 海生生物除去後の外観 (南側)



①エポキシ塗膜のふくれ(φ1~φ5)



②溶接部状況(局部腐食なし)



③タールエポキシ塗膜のはがれ



継続試験材
防食系:チタンクワッド
防食仕様:Ti+塗装+アルミニウム合金陽極

写真-3.2.5.4 試験材 C-1 海生生物除去後の外観(東側)



①溶接部状況(局部腐食なし)



②タールエポキシ塗膜のはがれ



継続試験材
防食系:チタンクワッド
防食仕様:Ti+塗装+アルミニウム合金陽極

写真-3.2.5.5 試験材 C-1 海生生物除去後の外観(北側)

3.2.5.2 詳細調査

詳細調査では、①塗膜の膜厚測定、②塗膜の基盤目密着試験、③塗装部の付着力測定、④塗装部分の交流インピーダンス測定、⑤塗装部分の絶縁抵抗測定、⑦犠牲アルミニウム合金陽極の消耗量測定および⑧海中部のタールエポキシ塗装部の欠陥率を測定した。

試験材の膜厚測定結果を表-3.2.5.2 に示す。測定厚みは、2003年測定時点とほとんど変化していなかった。

表-3.2.5.2 試験材 C-1 の膜厚測定結果

測定位置	膜厚(μm)				
	①	②	③	平均	2003年平均
北側 T.P.+1.70m	500	500	500	500	548
北側 T.P.+1.60m	1500	1500	1500	1500	1459
北側 T.P.-0.40m	1550	1550	1550	1550	1560
北側 T.P.-0.50m	1650	1600	1600	1616	1520

表-3.2.5.3 に試験材の塗膜基盤目試験結果を示す。東側と南側の TP1.7m, 1.6m, -1.2m で測定を実施した。TP1.7m では、両者とも分類5であった。TP1.6m では東側では分類3、南側では分類0であった。TP-1.2m では、両者とも分類5であった。







表-3.2.5.4 に試験材の塗装部付着力測定結果を示す。塗装部の付着力は西側の TP1.7m と 1.4m (2箇所) と北側の TP-1.0m (3箇所) で測定した。西側の TP1.7m では、付着力は 5.5MPa でプライマーの凝集剥離が 80%、供試材の凝集剥離が 20%であった。TP1.4m では付着力は 1.5MPa と 1.1MPa でそれぞれ、プライマー/鋼材間での層間剥離が 100%と、プライマーの凝集剥離が 80%、供試材の凝集剥離が 20%であった。北側 TP-1.00m では、付着力は、0.5MPa, 0.5MPa, 0.4MPa で、いずれも供試材/プライマー間の層間剥離が 100%であった。

試験材の交流インピーダンス測定結果(北面)を表-3.2.5.5 と図-3.2.5.3 および図-3.2.5.4 に示す。TP1.7m では、交流抵抗値は、約 1E+08 で、TP1.6m、TP-0.95m, TP-1.05m ではそれよりも低い交流抵抗値を示した。静電容量については、TP1.7m では約 500~600pF で、TP1.6m、TP-0.95m, TP-1.05m ではそれよりも高い値を示した。

試験材(北面)の絶縁抵抗測定結果を表-3.2.5.6 に示す。TP1.7m では約 5E+11 で、TP1.6m では約 1.2E+08 と低下し、TP-0.95m では約 4E+07 と最も低い値を示した。また、TP-1.05M では約 5E+09 であった。

陽極質量形状測定を表-3.2.5.7 に示す。東西南北で消耗量に大きな違いはなく、初期重量の約 10~18%のアルミニウム合金が消耗されていた。

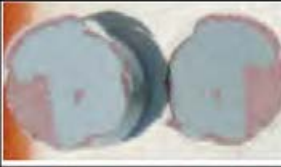





表-3.2.5.3 塗膜基盤目試験結果

方向	レベル	分類	試験面写真
東	1.70	5	
東	1.60	3	
東	-1.00	5	
南	1.70	5	
南	1.60	0	
南	-1.00	5	

分類説明

- 0: カットの縁が完全に滑らかで、どの格子の目にもはがれがない。
- 1: カットの交差点における塗膜の小さなはがれ。
クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に5%を上回ることはない。
- 2: 塗膜がカットの縁に沿って、及び/又は交差点においてはがれている。
クロスカット部分で影響を受けるのは明確に5%を超えるが15%を上回ることはない。
- 3: 塗膜がカットの縁に沿って、部分的又は全面的に大はがれを生じており、及び/又は目のいろいろな部分が、部分的又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に15%を超えるが35%を上回ることはない。
- 4: 塗膜がカットの縁に沿って、部分的又は全面的に大はがれを生じており、及び/又は数か所の目が部分的又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に35%を超えるが65%を上回ることはない。
- 5: はがれの程度が分類4を超える場合。

表-3.2.5.4 塗装付着力評価結果

試験材No.	測定位置		付着力 MPa	剥離状態	試験面写真
C-1	①	西 T.P.+1.70m	5.5	D: 20%	
				F: 80%	
	②	西 T.P.+1.40m	1.5	G: 100%	
③	西 T.P.+1.40m	1.1	D: 20%		
			G: 80%		
④	北 T.P.-1.00m	0.5	E: 100%		
⑤	北 T.P.-1.00m	0.5	E: 100%		
⑥	北 T.P.-1.00m	0.4	E: 100%		

試験面破壊形態

- A: 付着強度測定用ドーリー—接着剤間の層間剥離
- B: 接着剤の凝集破壊
- C: 接着剤—供試材間の層間剥離
- D: 供試材の凝集破壊
- E: 供試材—プライマー間の層間剥離
- F: プライマーの凝集破壊
- G: プライマー—鋼材間での層間剥離

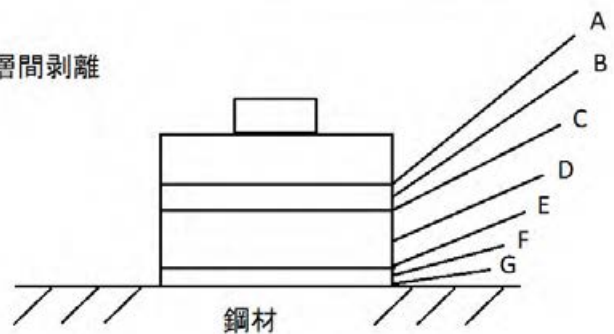


表-3.2.5.5 交流インピーダンス測定結果

C-1(北面)							
交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (μF)			
測定レベル	200Hz	500Hz	1000Hz	測定レベル	200Hz	500Hz	1000Hz
T.P.+1.70m	1.85E+08	9.83E+07	5.72E+07	T.P.+1.70m	596	547	515
T.P.+1.60m	1.15E+07	9.84E+06	7.86E+06	T.P.+1.60m	1556	1424	1325
T.P.-0.95m	1.36E+07	1.17E+07	9.31E+06	T.P.-0.95m	1179	1050	969
T.P.-1.05m	2.02E+06	2.07E+06	1.99E+06	T.P.-1.05m	980	850	750

測定場所: 大井川港内(陸上部)

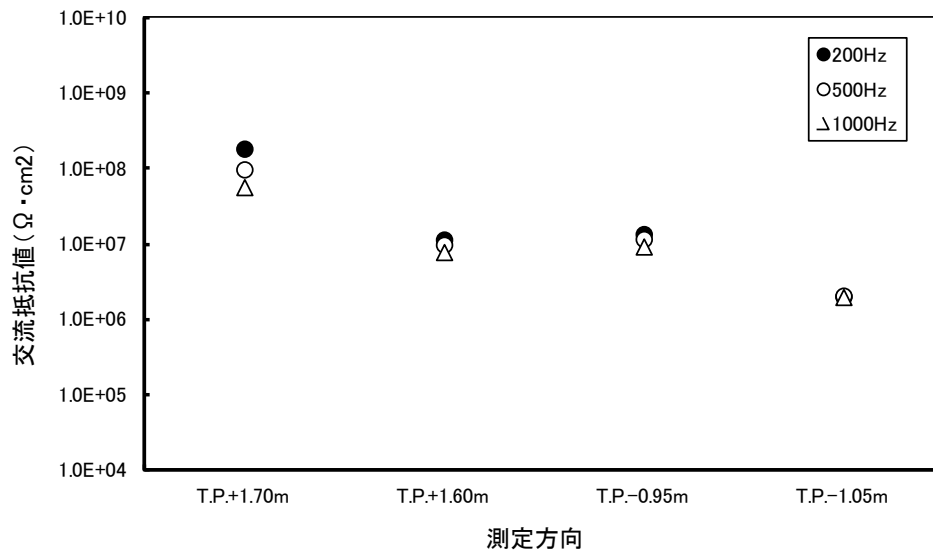


図-3.2.5.3 試験材C-1の交流抵抗値の測定結果(北面)

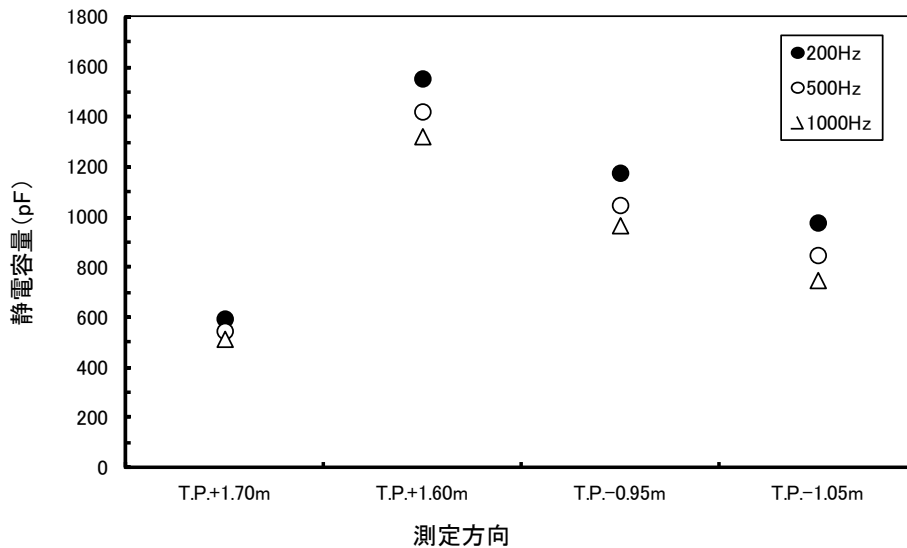


図-3.2.5.4 試験材C-1の交流抵抗値の測定結果(北面)

表-3.2.5.6 絶縁抵抗測定結果

測定年度	測定位置	絶縁抵抗($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	
		1分値	2分値
2013年	北T.P.+1.70	1分値	4.75E+11
		2分値	5.00E+11
	北T.P.+1.60	1分値	1.20E+08
		2分値	1.13E+08
	北T.P.-0.95	1分値	4.25E+07
		2分値	4.50E+07
	北T.P.-1.05	1分値	4.25E+09
		2分値	5.00E+09

注)

印加電圧:500V(D.C)

1分値:電圧印加後、1分後の測定値

2分値:電圧印加後、2分後の測定値

表-3.2.5.7 アルミニウム合金陽極の消耗量

測定年度	測定方向	陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)		
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量
2013年	東	44	97	197	2.26	1.97	0.29
	西	42	97	198	2.26	1.94	0.32
	南	44	93	199	2.26	1.85	0.41
	北	44	94	196	2.26	2.01	0.25

海中部のタールエポキシ塗装 (TE) の膨れ・欠陥比率の測定は、表-3.2.5.8 に示す方法で実施した。

表-3.2.5.8 調査項目

調査項目	方法
海中部 TE 塗装の膨れ・欠陥比率測定	膨れ及び塗膜欠陥の外観観察を行った。 浮いている塗膜はカッターで取り除いた。 塗膜の剥がれを透明フィルムに書き写し、面積計算ソフトにより欠陥比率を求めた。

図-3.2.5.5 に測定箇所の外観スケッチを示す。海中部のタールエポキシ塗装に膨れは観察されなかったが、多くの剥がれが観察され、その周囲では塗膜が浮いている箇所があった。浮いている塗膜をカッターで取り除いた。塗膜の剥がれを欠陥とし、その比率を求めた。塗膜剥離のスケッチとそれをもとに面積解析ソフトで求めた欠陥比率を表-3.2.5.9 に示す。

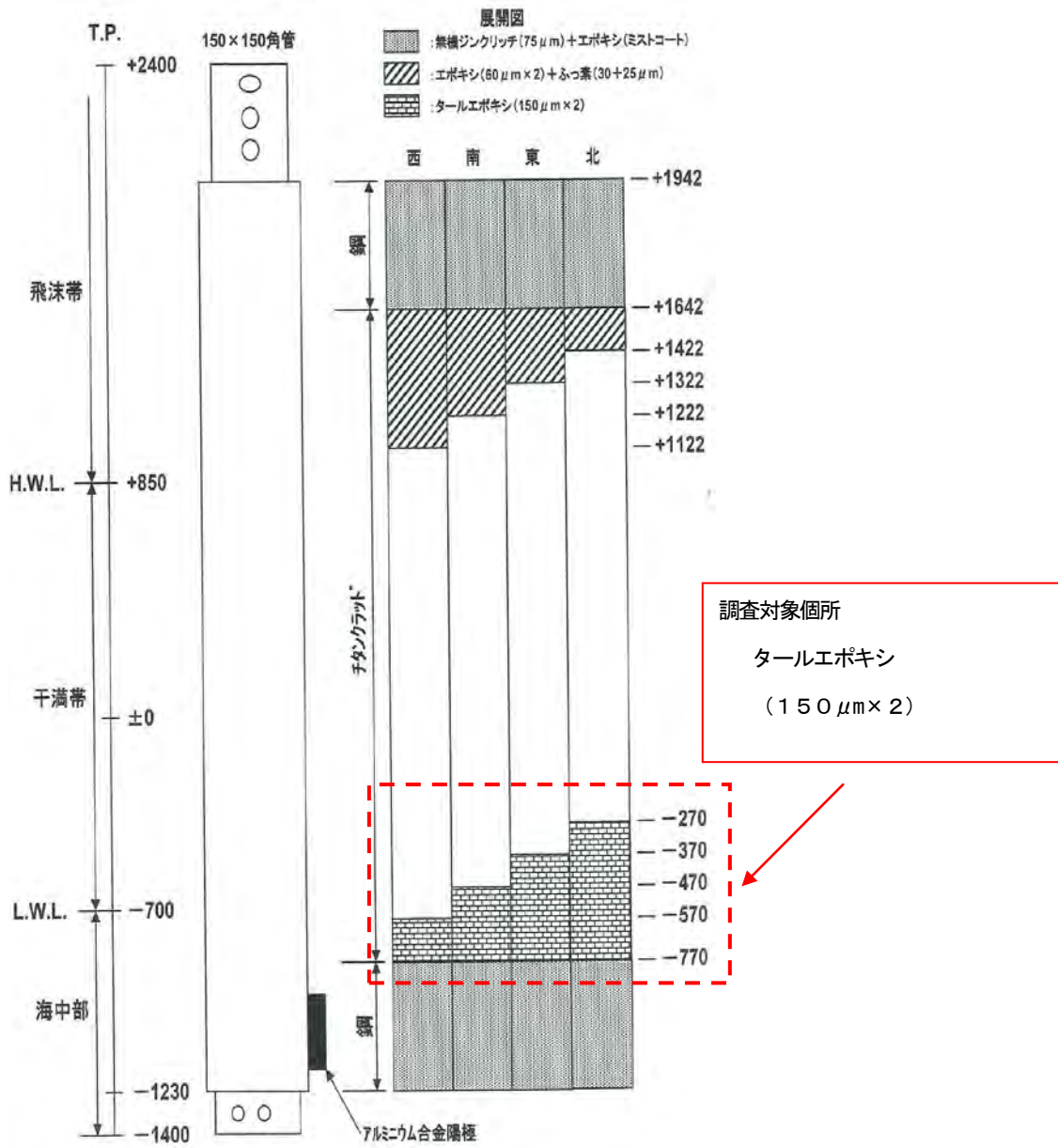


図-3.2.5.5 測定箇所の外観スケッチ

表-3.2.5.9 塗膜剥離のスケッチと塗膜の欠陥比率

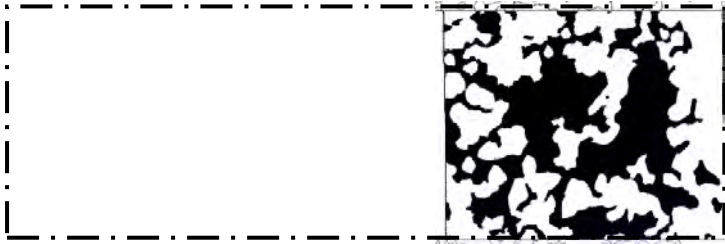
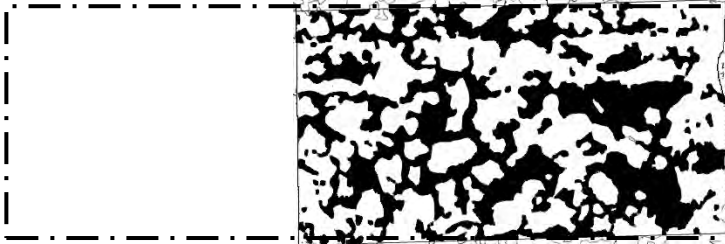
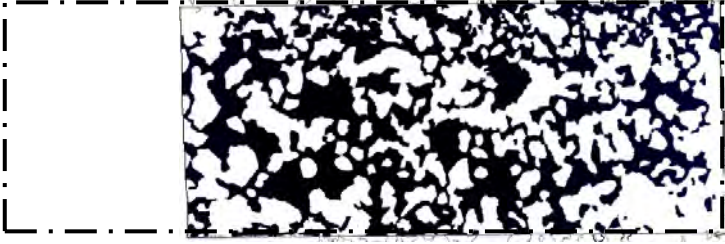

	塗膜の剥離のスケッチ (黒が塗膜、白抜きが塗膜の剥離個所)	欠陥比率 (塗膜の剥離面積の割合)
西		56.7%
南		60.0%
東		56.1%
北		60.7%

表-3.2.5.9 から明らかなように海中部のタールエポキシ塗装のほぼ半分以上は、剥離していることが分かる。

3.2.5.3 まとめ

チタンクラッド部には多量のフジツボ類の付着跡が見られたが、付着下ですきま腐食などの局部腐食は認められず、健全な状態であった。海中部のタールエポキシ塗装部は、塗膜の剥離が多数見られたが、電気防食の効果により鋼材の腐食は生じておらず、健全な状態であった。チタン溶接部も一般部と同様に、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

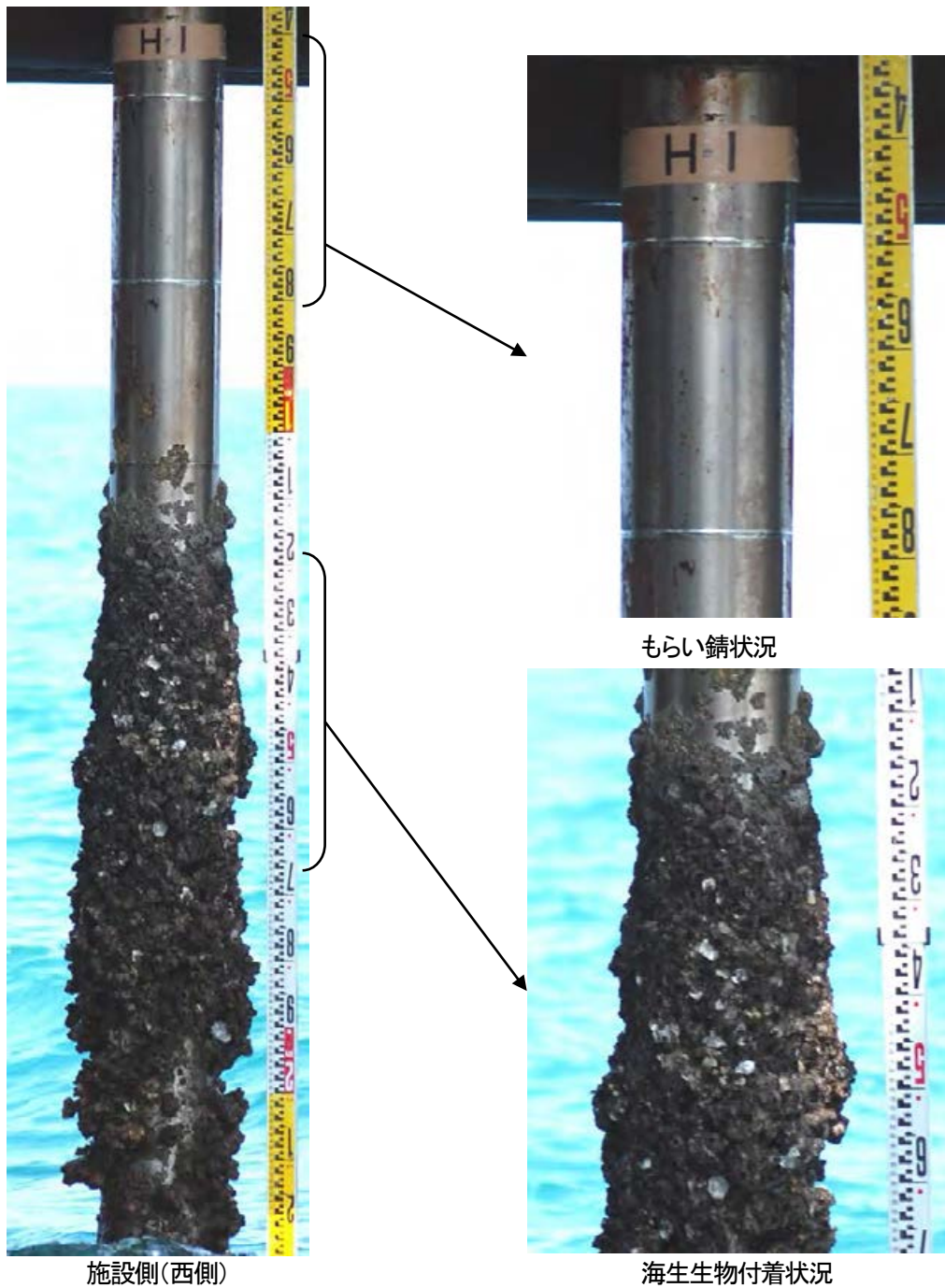
また、試験材の膜厚は、2003年の計測時点とほとんど変化しておらず、交流インピーダンス法により測定した交流抵抗値と絶縁抵抗試験とも十分高い値を示した。

3.2.6 試験材 H-1

3.2.6.1 現地調査

H-1 試験体は、海洋環境での長期耐久性を有し、衝撃や傷に対して強い金属系防食材料としてチタンクラッド鋼と低価格の SUS304 鋼、さらに塗装を組み合わせた総合的な防食法を適用し、長期の耐久性を評価することを目的としている。

海生生物除去前の試験材の外観観察結果を写真-3.2.6.1 に、外観スケッチを図-3.2.6.1 に示す。試験材上部からのもらい錆による変色(部分的に茶褐色に変色)が見られた以外に異状は認められなかった。海生生物の付着状況は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類やイガイが付着していたが、一部波浪で脱落し、チタン表面が露出していた。海生生物除去後のスケッチを図-3.2.6.2 に、外観状況を写真-3.2.6.2 に示す。チタン被覆およびステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。



継続暴露試験材

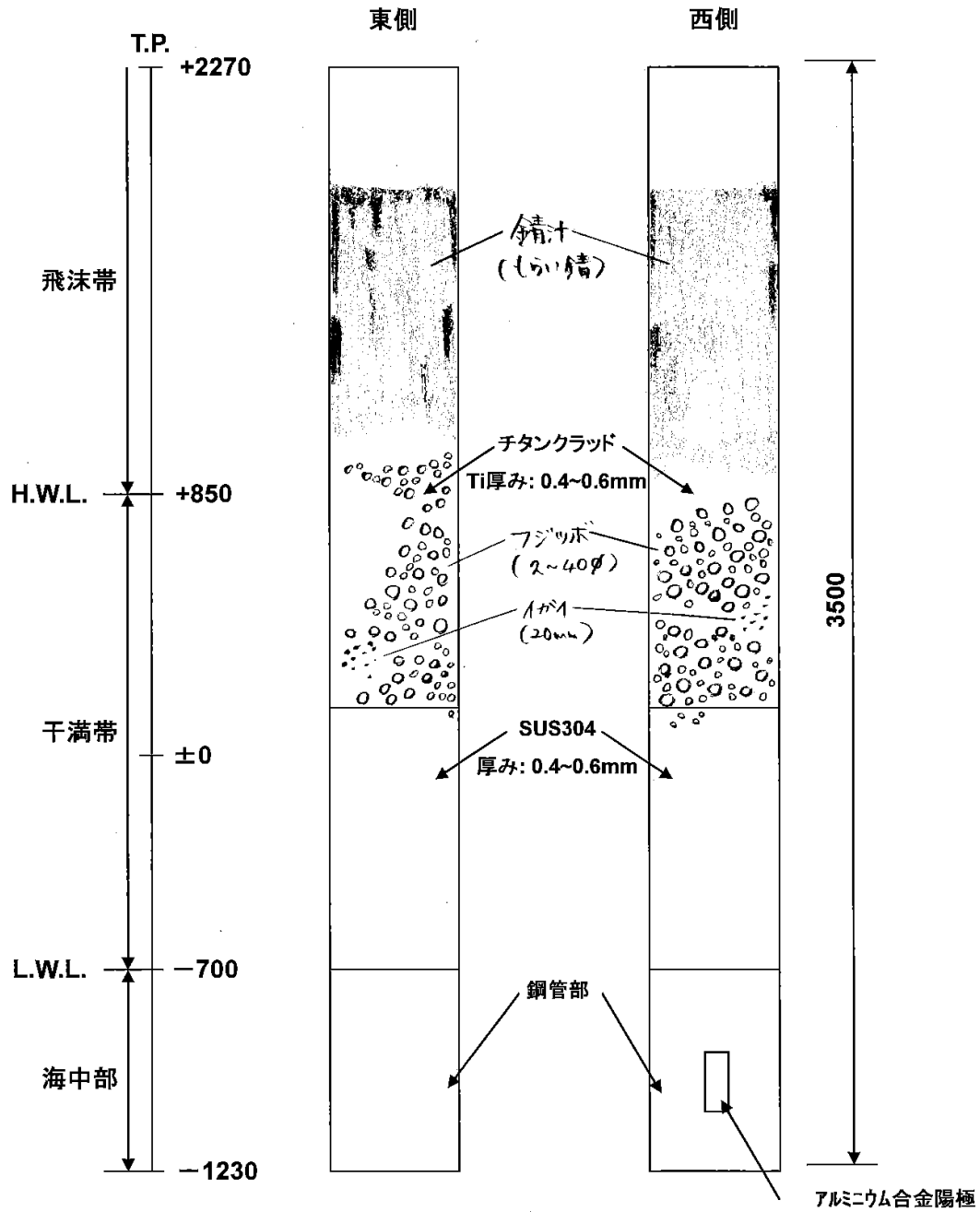
防食系: チタンクラッド・ステンレス鋼・普通鋼塗装+電気防食

防食仕様: 飛沫帯 チタン(0.4mm)

干満帯 SUS304(0.5mm)

海中部 タールエポキシ(300 μ m)+アルミニウム合金陽極

写真-3.2.6.1 試験材H-1 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

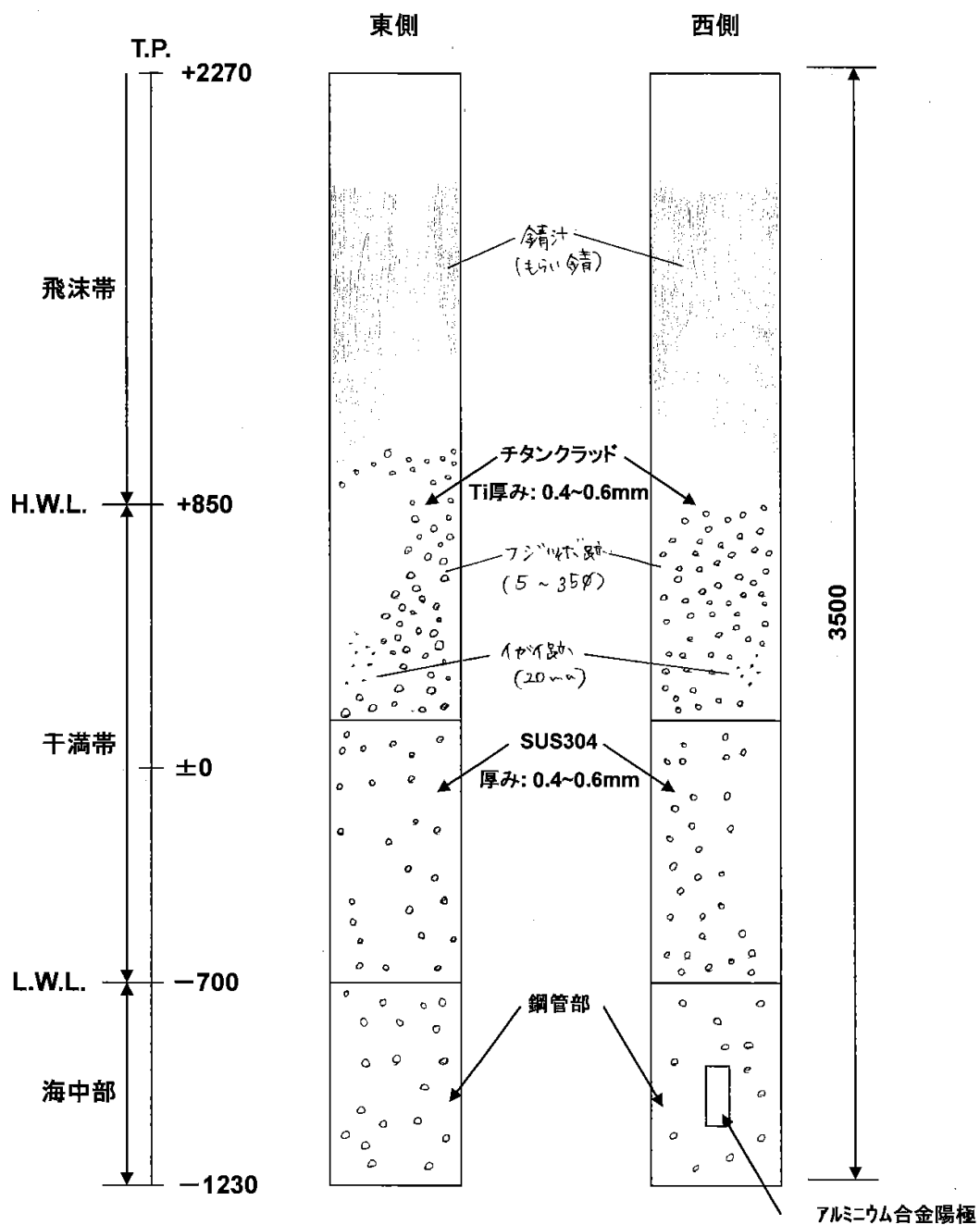
防食系: チタンクラッド・ステンレス鋼・普通鋼塗装+電気防食

防食仕様: 飛沫帯 チタン(0.4mm)

干満帯 SUS304(0.5mm)

海中部 タールエポキシ(300 μ m)+アルミニウム合金陽極

図-3.2.6.1 試験材H-1 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系: チタンクラッド・ステンレス鋼・普通鋼塗装+電気防食

防食仕様: 飛沫帯 チタン(0.4mm)

干満帯 SUS304(0.5mm)

海中上部 タールエポキシ(300 μ m)+アルミニウム合金陽極

図-3.2.6.2 試験材H-1 海生生物除去後の外観図

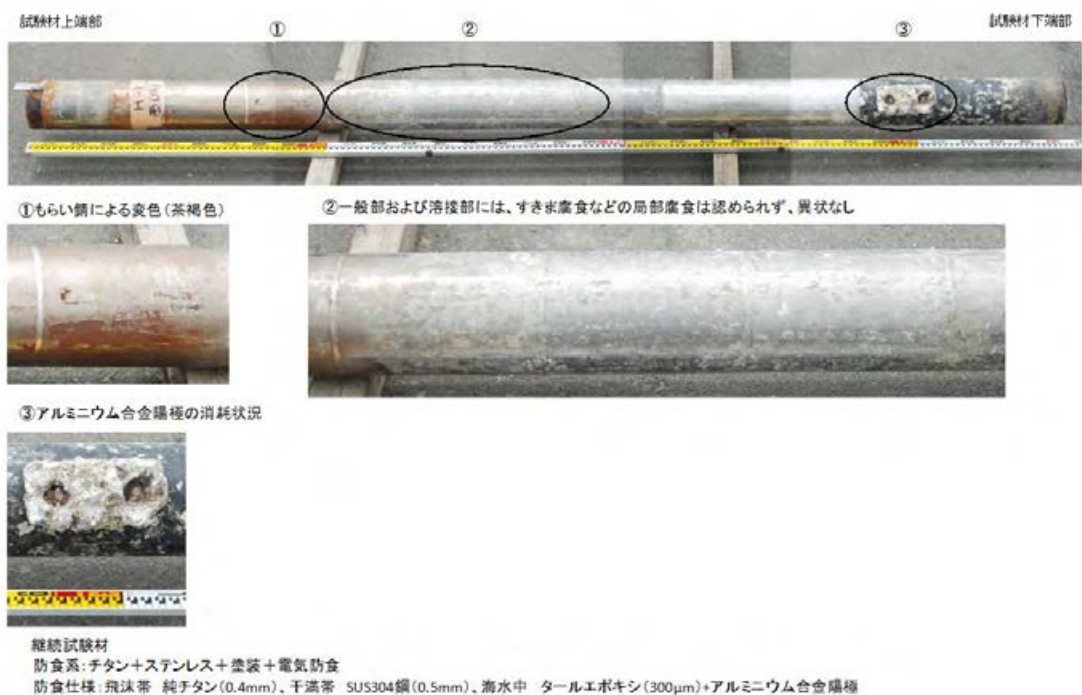


写真-3.2.6.2 試験材 H-1 海生生物除去後の外観写真 (西側)

次に試験材の電位測定結果を表-3.2.6.1 に示す。今回(2013年)、深度方向に対して 500mm 毎に測定された電位は-1073~-1076mV vs SCE であり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.2.6.1 試験材 H-1 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1063	-1065	-1068	-1064	-1065
2008年	—	-1086	-1082	-1085	-1084	-1084
2011年	-1071	-1070	-1073	-1078	-1073	-1073
2013年	-1073	-1076	-1073	-1075	-1075	-1074

3.2.6.2 詳細調査

詳細調査では、①塗膜の膜厚測定、②塗膜の基盤目密着試験、③塗装部の付着力測定、④塗装部分の交流インピーダンス測定、⑤塗装部分の絶縁抵抗測定、⑦犠牲アルミニウム合金陽極の消耗量測定および⑧海中部のタールエポキシ塗装部の欠陥率を測定した。


表-3.2.6.2 に試験材の海中部分のタールエポキシ塗装の膜厚測定結果を示す。いずれの測定箇所でも 800 μm であった。

表-3.2.6.2 試験材 H-1 の膜厚測定結果

測定位置	膜厚 (μm)			
	①	②	③	平均
西側 T.P.-0.80m	800	800	800	800
東側 T.P.-0.80m	800	800	800	800

表-3.2.6.3 に東面と西面の海中部分のタールエポキシ塗装部の基盤目試験結果を示す。東面では分類4、西面では分類5と密着性は低下していた。

表-3.2.6.3 海中部分のタールエポキシ塗装部の基盤目試験結果

方向	レベル	分類	試験面写真
東	-0.80	4	
西	-0.80	5	

分類説明







- 0: カットの縁が完全に滑らかで、どの格子の目にもはがれがない。
- 1: カットの交差点における塗膜の小さなはがれ。
クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に5%を上回ることはない。
- 2: 塗膜がカットの縁に沿って、及び/又は交差点においてはがれている。
クロスカット部分で影響を受けるのは明確に5%を超えるが15%を上回ることはない。
- 3: 塗膜がカットの縁に沿って、部分的又は全面的に大はがれを生じており、及び/又は目のいろいろな部分が、部分的又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に15%を超えるが35%を上回ることはない。
- 4: 塗膜がカットの縁に沿って、部分的又は全面的に大はがれを生じており、及び/又は数か所の目が部分的又は全面的にはがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは、明確に35%を超えるが65%を上回ることはない。
- 5: はがれの程度が分類4を超える場合。

表-3.2.6.4 に試験体の塗装部付着力測定結果を示す。測定箇所は、西面の TP-0.8m (3箇所)と東面の TP-0.8m (3箇所)である。付着力は0.2~1.0MPa で、供試材の凝集破壊が主であった。

試験体の海中部分のタールエポキシ塗装部の交流インピーダンス測定結果を表-3.2.6.5 と図-3.2.6.2 及び図-3.2.6.3 に示す。交流抵抗値は、約 $1E+0.8$ で静電容量は約 300~350pF であった。

表-3.2.6.6 に絶縁抵抗の測定結果を示す。絶縁抵抗は、約 $3\sim 7E+11$ であった。表-3.2.6.7 にアルミニウム合金陽極の消耗量の測定結果を示す。初期のアルミニウム合金陽極の約1/3が消耗していた。

表-3.2.6.4 試験材 H-1 の塗装部付着力測定結果

試験材No.	測定位置		付着力 MPa	剥離形態	試験面写真
H-1	①	西 T.P.-0.80m	1.0	C:30%	
				D:70%	
	②	西 T.P.-0.80m	0.8	D:100%	
	③	西 T.P.-0.80m	0.2	D:50%	
				E:50%	
	④	東 T.P.-0.80m	0.7	C:50%	
				D:50%	
⑤	東 T.P.-0.80m	0.9	D:100%		
⑥	東 T.P.-0.80m	0.3	D:100%		

試験面破壊形態

- A: 付着強度測定用ドーリ—接着剤間の層間剥離
- B: 接着剤の凝集破壊
- C: 接着剤—供試材間の層間剥離
- D: 供試材の凝集破壊
- E: 供試材—鋼材間での層間剥離

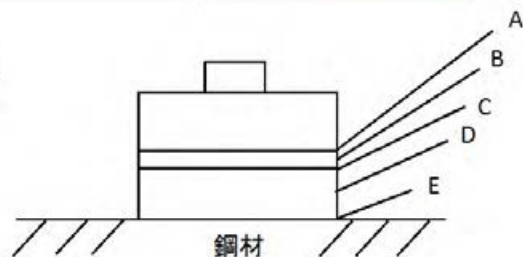


表-3.2.6.5 試験材H-1の塗装部の交流インピーダンス測定結果

H-1(T.P.-0.80m)							
交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (pF)			
測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
西面	1.94E+08	6.89E+07	3.48E+07	西面	320	352	345
東面	2.78E+08	1.04E+08	5.27E+07	東面	282	292	284

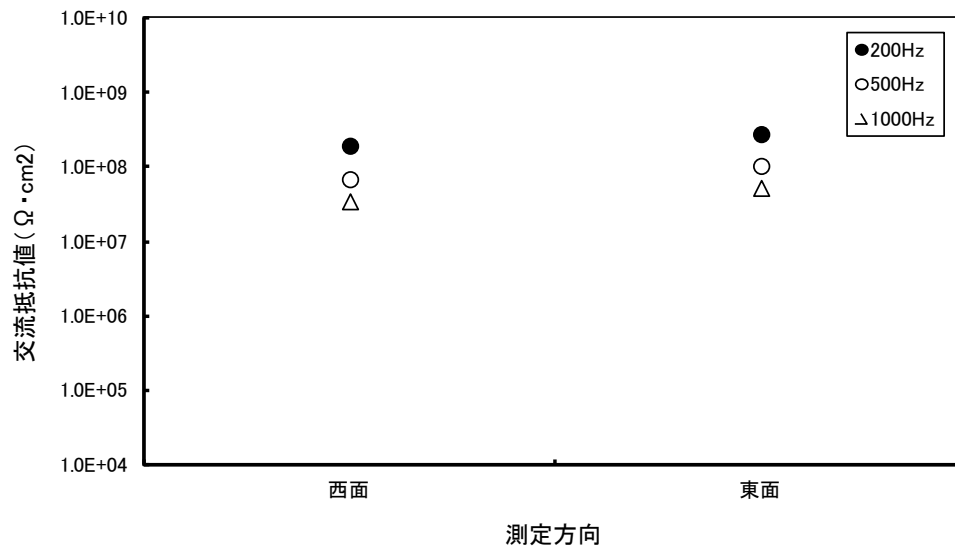


図-3.2.6.2 試験材H-1の交流抵抗値の測定結果(T.P.-0.8m)

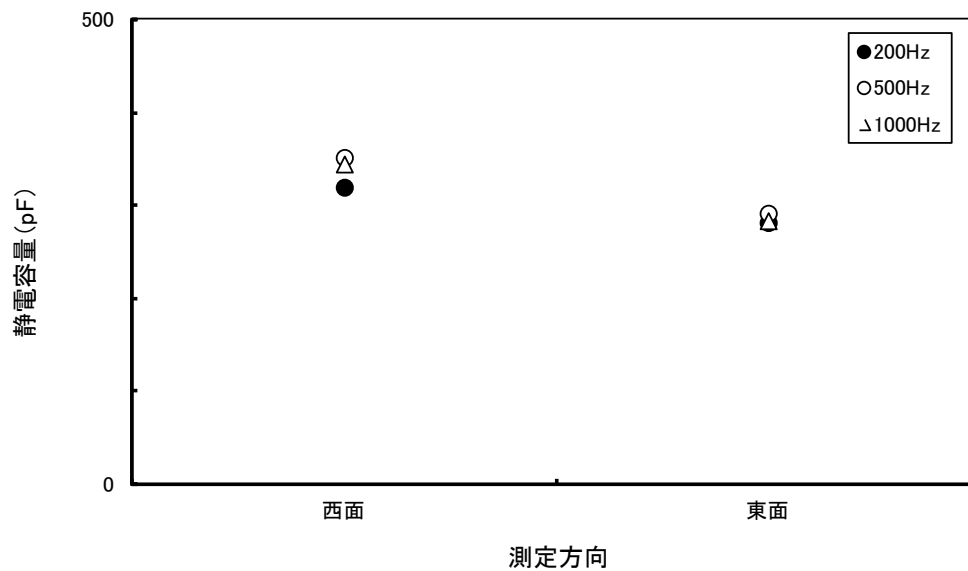


図-3.2.6.3 試験材H-1の静電容量の測定結果(T.P.-0.8m)

表-3.2.6.6 試験材 H-1 の塗装部の絶縁抵抗測定結果

測定年度	測定位置	絶縁抵抗 ($\Omega \text{ cm}^2$)	
2013年	西 T.P.-0.80m	1分値	4.00E+11
		2分値	3.25E+11
	東 T.P.-0.80m	1分値	7.25E+11
		2分値	7.50E+11

注)

印加電圧: 500V(D.C)

1分値: 電圧印加後、1分後の測定値

2分値: 電圧印加後、2分後の測定値

表-3.2.6.7 試験材 H-1 のアルミニウム合金犠牲陽極の消耗速度の測定結果

		陽極寸法 (mm)			陽極質量 (kg)			(kg/y)
測定年度	測定方向	厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
2013年	西	40	105	201	1.79	1.17	0.62	0.062

詳細調査では、海中部のタールエポキシ塗装部の膨れと欠陥比率を測定した。表-3.2.6.8 に詳細調査方法を示す。図-3.2.6.4 に図測定箇所を点線（赤字）で示す。

表-3.2.6.8 詳細調査方法

調査項目	方法
海中部 TE 塗装の膨れ・欠陥比率測定	膨れ及び塗膜欠陥の外観観察を行った。 浮いている塗膜はカッターで取り除いた。 塗膜の剥がれを透明フィルムに書き写し、面積解析ソフトにより欠陥比率を求めた。

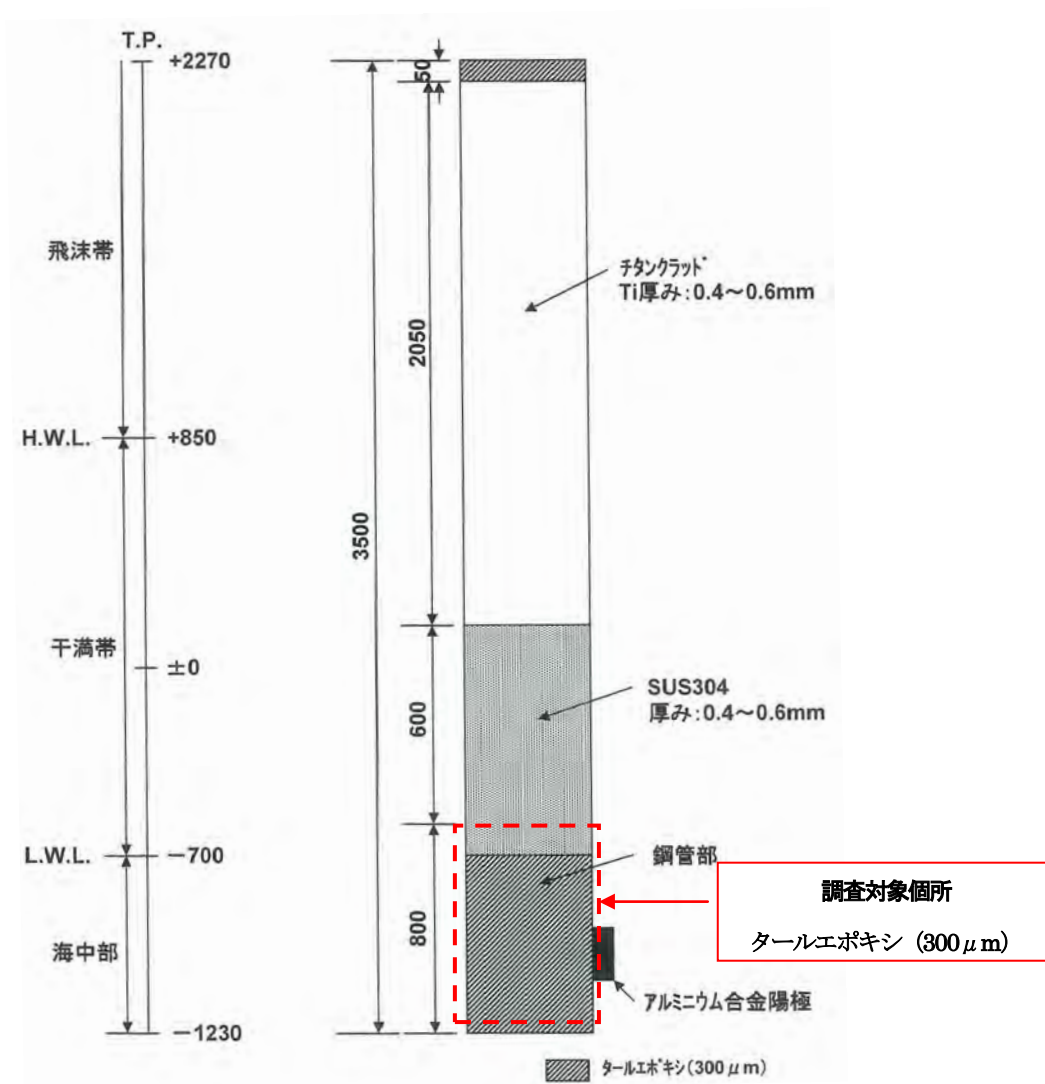


図-3.2.6.4 外観図 H-1 チタン+ステンレス+塗装+電気防食

海中部のタールエポキシ塗装部で膨れは観察されなかった。ただし、所々に塗膜の剥がれが観察された。表-3.2.6.9 に浮いている塗膜をカッターで剥がし、塗膜欠陥率を求めた結果を示す。

表-3.2.6.9 展開図と欠陥比率

<p>展開図 (赤色が塗膜の剥離個所を示す)</p>	<p>欠陥比率 (剥離面積の割合)</p>
	<p>3.5%</p>

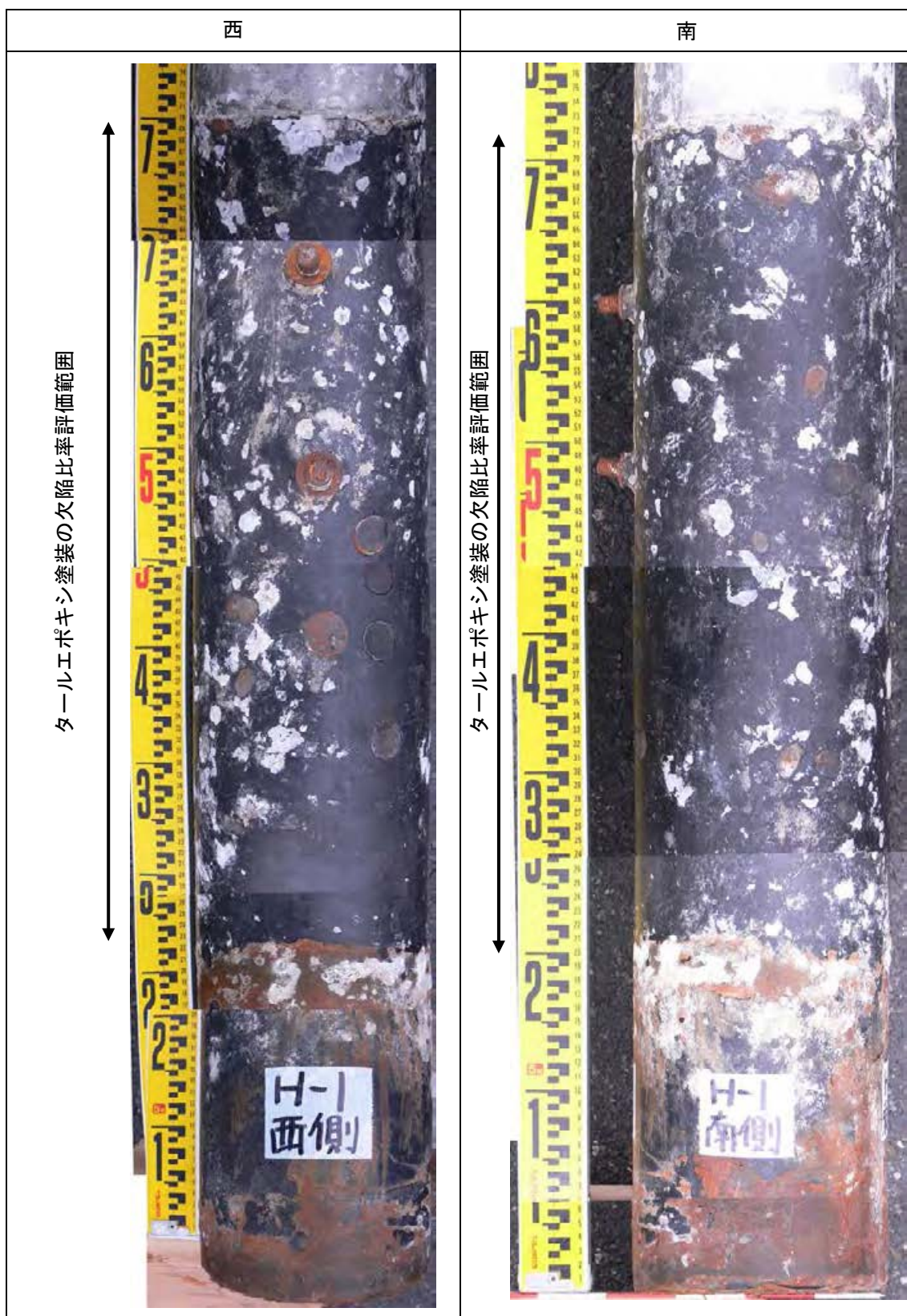


写真-3.2.6.3 浮いていた塗膜を取り除いた後の外観

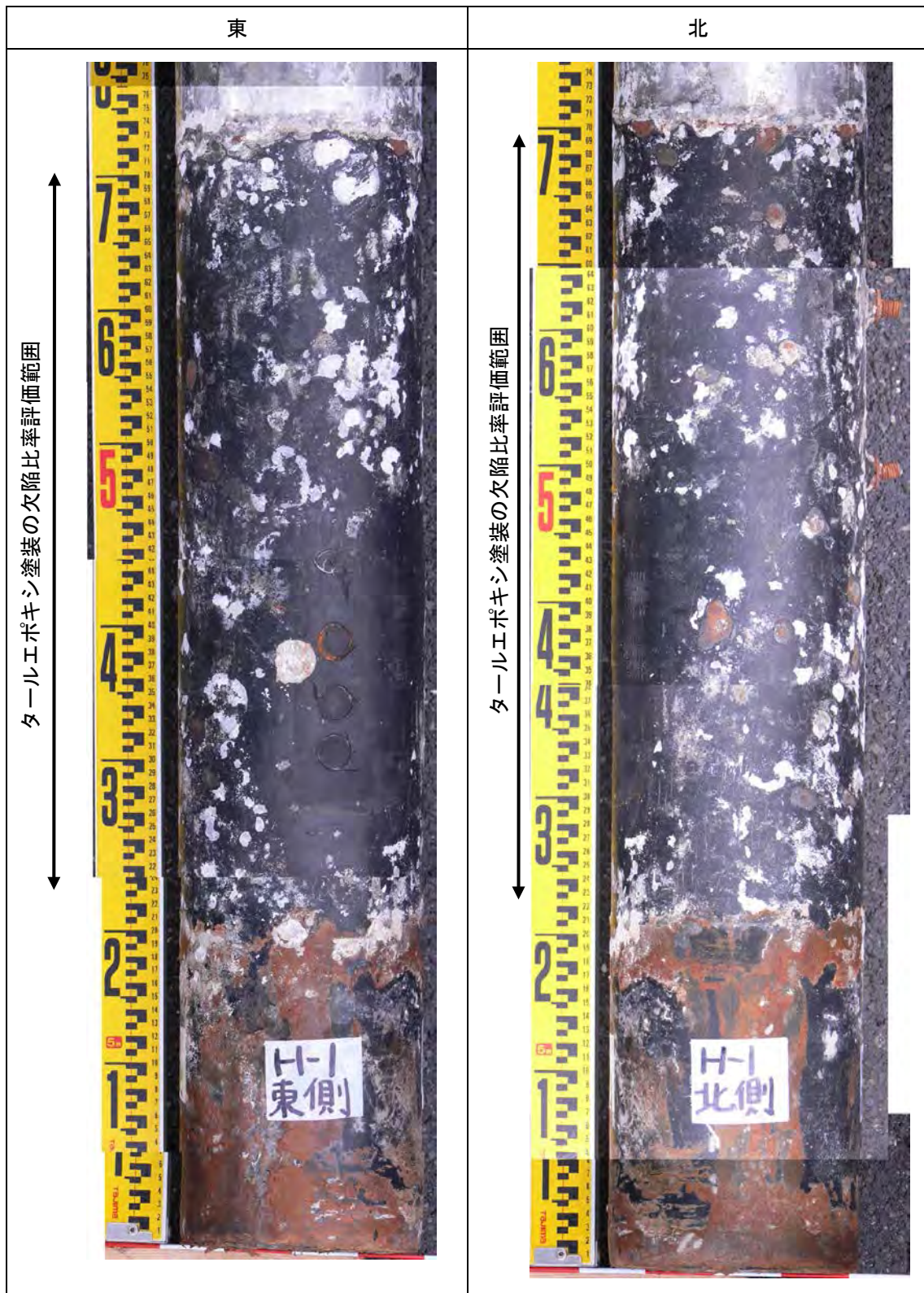


写真-3.2.6.4 浮いていた塗膜を取り除いた後の外観

3.2.6.3 まとめ

飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類やイガイが付着し、一部波浪で脱落し、チタン表面が露出していた。チタン被覆およびステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であった。ステンレス鋼被覆部分で局部腐食を発生しなかったのでは、電気防食効果が良好に作用していたためと考えられる。

海中部のタールエポキシ塗装部の防食性能についても、密着性、付着力、交流インピーダンス法での交流抵抗値及び絶縁抵抗の測定結果から、有効に作用していると考えられる。

3.2.7 試験材 F-2

3.2.7.1 現地調査

(1) 現地外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.7.1に、外観スケッチを図-3.2.7.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色（薄い茶色）がみられた以外に異状は認められなかった。海生生物の付着状況は、干満帯に多量のフジツボ類やイガイが付着しており、飛沫帯にも H. W. L. +600mm 程度まで、フジツボ類の幼生が付着していた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.7.2および写真-3.2.7.3に、外観スケッチを図-3.2.7.2に示す。

東面の飛沫帯の塗膜に、一部当て傷のような箇所がみられ、この箇所においてピンホールが生じていることが確認された。その他の箇所については、海生生物付着下の塗膜においても割れや剥離などの異状はみられず、健全な状態であることが認められた。

(3) 膜厚測定

表-3.2.7.1に膜厚測定結果を示す。

膜厚測定結果から飛沫帯における試験材の膜厚には経時的な減少傾向は認められなかった。

表-3.2.7.1 試験材 F-2 膜厚の経時変化

測定年度	塗膜厚さ(μm)			平均値(μm)
1993年	2400	2200	2300	2300
1998年	2400	2300	2300	2330
2003年	2500	2400	2400	2430
2005年	2400	2300	2400	2360
2008年	2400	2500	2500	2467
2011年	2400	2450	2450	2433
2013年	2500	2400	2450	2450

注)膜厚は、3箇所3回測定の平均値

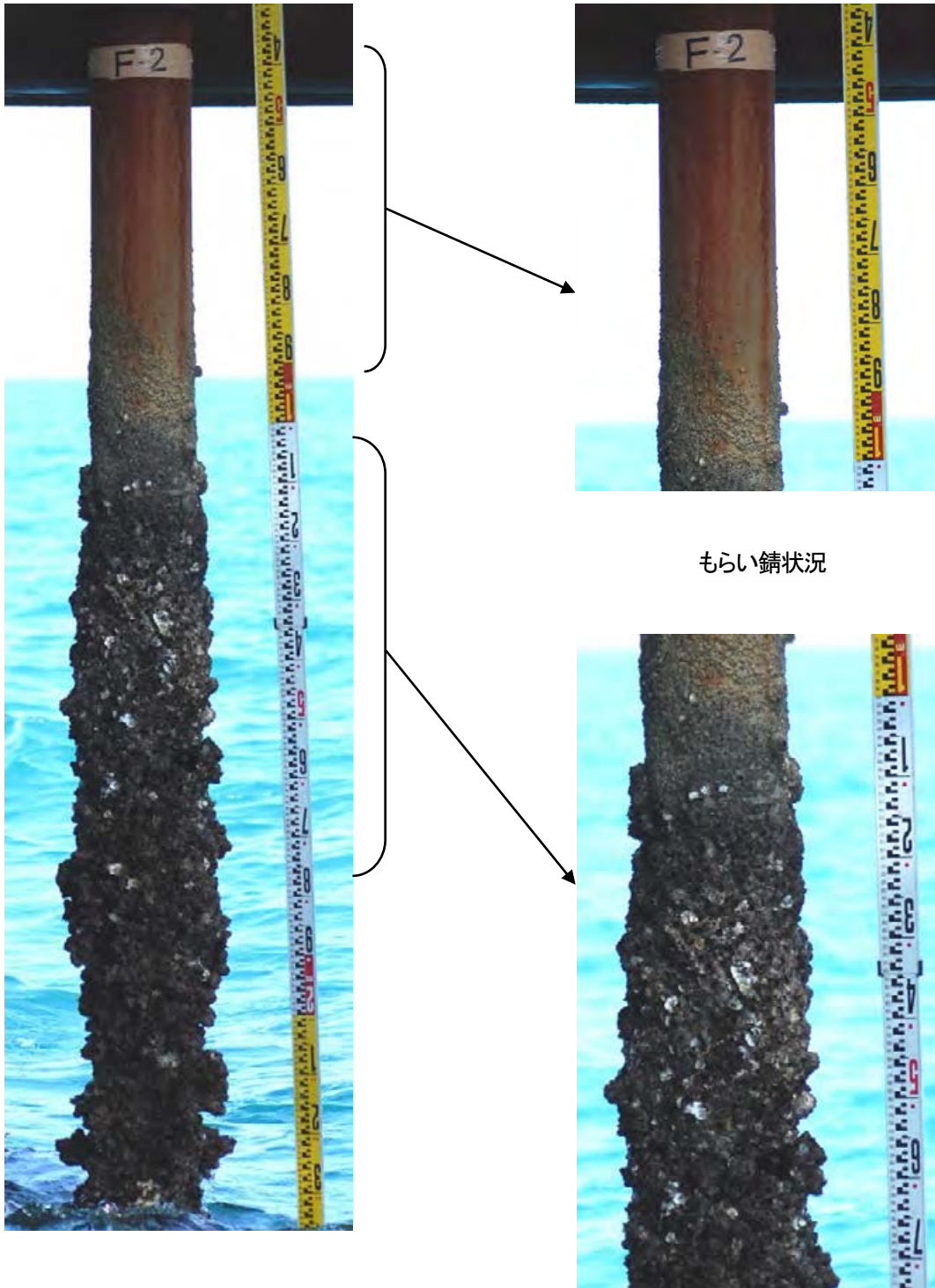
(4) 交流インピーダンス測定

表-3.2.7.2、図-3.2.7.3および図-3.2.7.4に交流抵抗値および静電容量の測定結果を示す。

1993年度暴露開始以来、経過年数とともに徐々に交流抵抗値は低下する傾向にあったが、本年(2013年)は2011年と同程度であった。いずれにしても $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度の高抵抗値を示しており、良好な塗膜状態を維持しているものと考えられる。

(5) ピンホール測定

試験材東面の飛沫帯 (T.P. +1750 付近) において、漂流物のようなものが衝突したとみられる当て傷が認められ、その箇所においてピンホールが検出された。



施設側(西側)

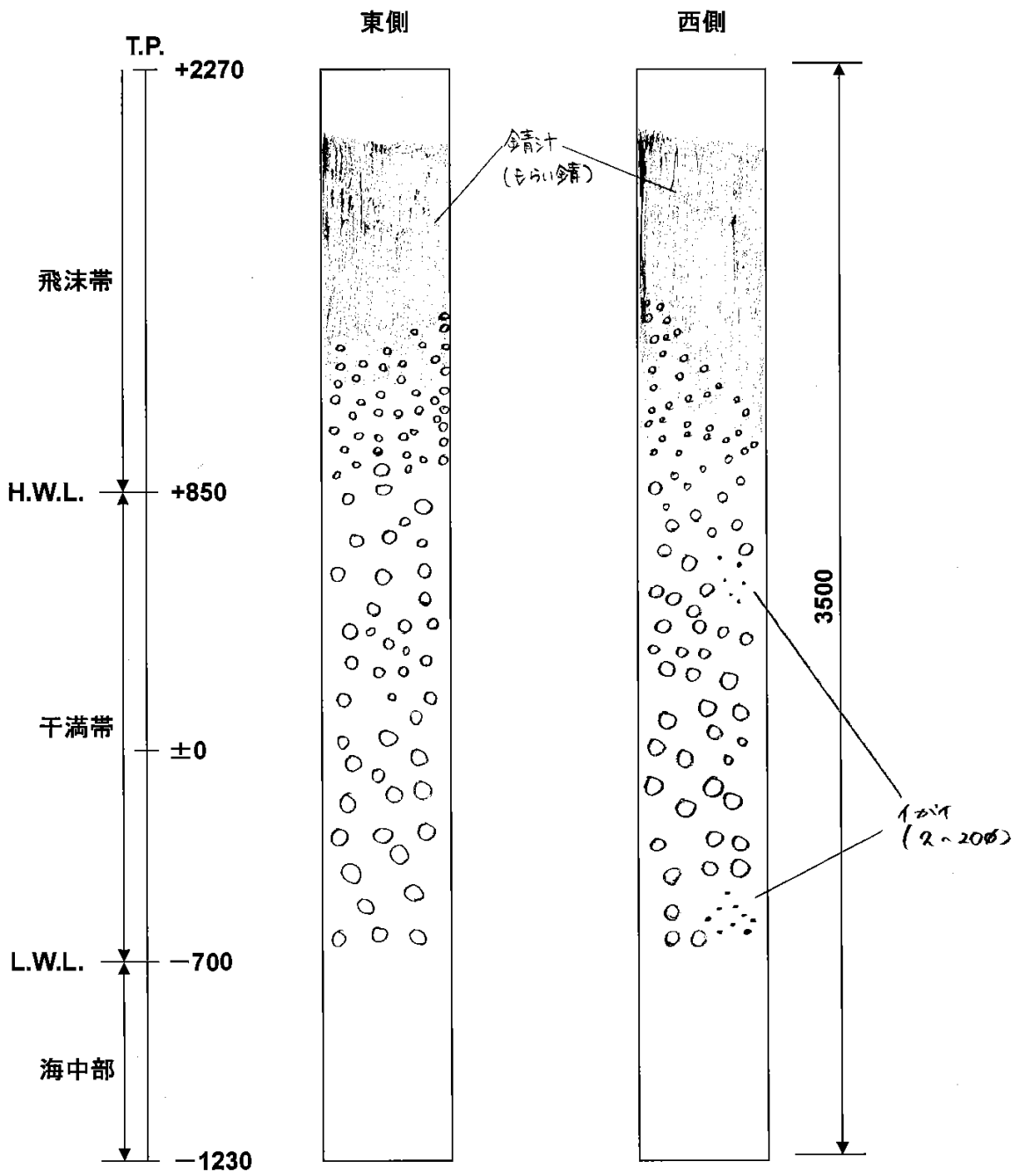
海生生物付着状況

継続暴露試験材

防食系: 超厚膜型エポキシ樹脂塗料

防食仕様: OZP(20 μ m) + エポキシ(1250 μ m \times 2)

写真-3.2.7.1 試験材F-2 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

図-3.2.7.1 試験材F-2 海生生物除去前の外観図



①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②海生生物(フジツボ類)の付着跡(φ5~φ40)



写真-3. 2. 7. 2 試験材 F-2 (西面) 海生生物除去後の外観状況



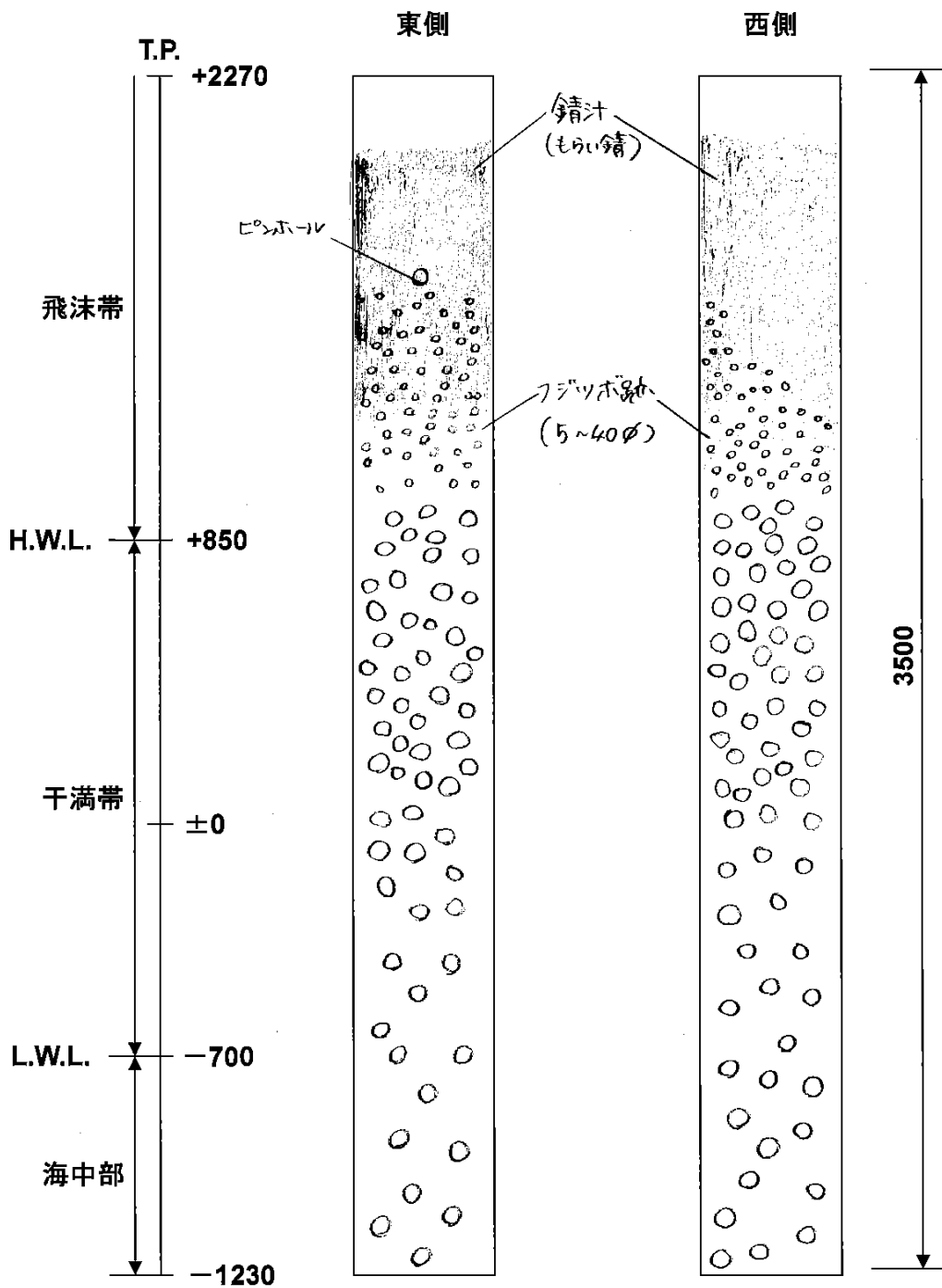
①塗膜のあて傷およびピンホールが認められる



②海生生物(フジツボ類)の付着跡(φ5~φ40)



写真-3. 2. 7. 3 試験材 F-2 (東面) 海生生物除去後の外観状況



(mm)

図-3.2.7.2 試験材F-2 海生生物除去後の外観図

表-3.2.7.2 試験材F-2 交流抵抗値および静電容量の経時変化

F-2								
年度	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			年度	経過年数
	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz		
1993年	0	9.51E+08	6.02E+08	3.97E+08	0			
1994年	1	6.96E+08	4.63E+08	3.24E+08	1	88.5	80.7	76.2
1995年	2	5.24E+08	3.39E+08	2.34E+08	2	105	94	87.8
1996年	3	5.95E+08	3.78E+08	2.55E+08	3	101	90.8	84.9
1997年	4	4.84E+08	3.34E+08	2.37E+08	4	100	89.6	83.3
1998年	5	3.85E+08	2.82E+08	2.56E+08	5	103	91.8	85
1999年	6	3.32E+08	2.31E+08	1.71E+08	6	119	103	94
2001年	8	2.28E+08	1.55E+08	1.12E+08	8	142	119	106
2003年	10	3.09E+08	2.15E+08	1.54E+08	10	123	104	95.5
2005年	12	9.46E+07	6.86E+07	5.10E+07	12	218	171	146
2008年	15	7.03E+07	5.21E+07	4.85E+07	15	267	207	180
2011年	18	1.59E+08	1.20E+08	1.02E+08	18	184	150.8	132.6
2013年	20	1.86E+08	1.32E+08	6.64E+07	20	175	171.5	166

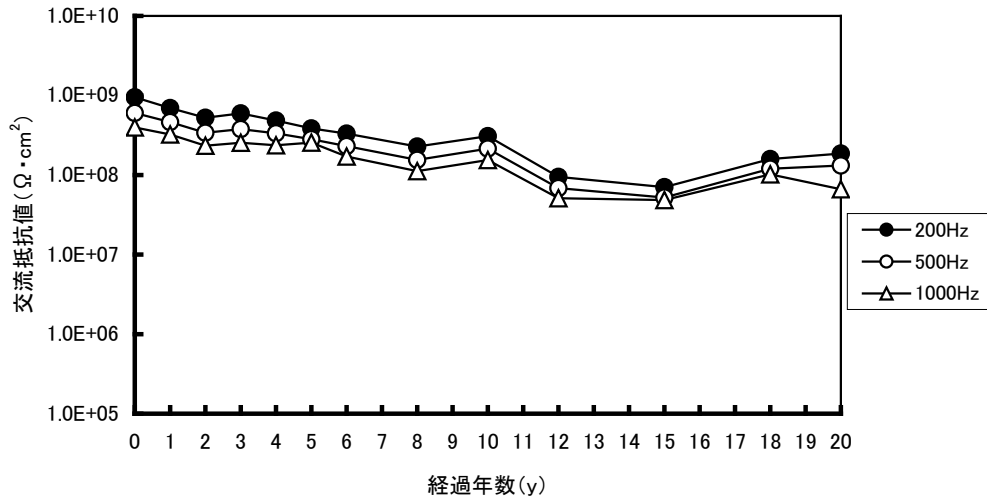


図-3.2.7.3 試験材F-2 交流抵抗値の経時変化

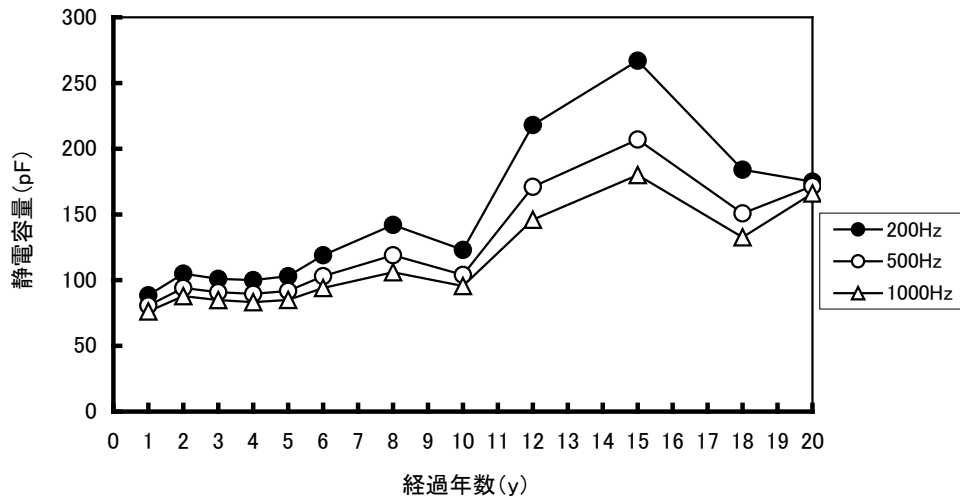


図-3.2.7.4 試験材F-2 静電容量の経時変化

3.2.7.2 詳細調査

3.2.7.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

目視にて塗膜の状態を観察した。

(2) 付着力測定

ポジテスタを用いて各部の付着力を測定した (N=2)。

(3) 電気化学的測定

カレントインタラプタ法により、分極抵抗、分極容量、塗膜抵抗、塗膜容量を測定した。

(4) 断面観察

塗膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した。また合わせてエネルギー分散型X線分析(EDX)により主要な元素の分布状態を観察し、特に塗膜内への塩分の侵入度合及びジンクリッチ層の酸化具合を確認した。

(5) 塗膜下の腐食状況観察

目視(ルーペ)により塗膜剥離後の鋼材の状態を観察し、腐食の発生を確認した。

3.2.7.2.2 詳細調査結果

(1) 塗膜外観観察

図-3.2.7.5 に結果を示す。

全体に良好な結果を示しており、一部色落ちをしている箇所があるもの良好な状態を保っている。




部位	一般部		
	飛沫帯	干満帯	海中部
結果			
	もらい錆あり。一部表面にクラックが生じている。	顕著な劣化なし	顕著な劣化なし

図-3.2.7.5 試験材 F-2 塗膜外観観察結果

(2) 付着力測定

図-3.2.7.6 に結果を示す。

全体的に高い付着性を示しており、また剥離位置も塗膜内凝集破壊が主体であり、塗膜の健全性が伺える。







部位	一般部		
	飛沫帯	干満帯	海中部
No1			
付着強度 (MPa)	13.7	13.9	12.0
No2			
付着強度 (MPa)	15.8	14.9	16.5
AV (MPa)	14.7	14.4	14.2

図-3.2.7.6 試験材 F-2 付着力測定結果

(3) 電気化学的測定

カレントインタラプタ法により測定した分極抵抗、分極容量、塗膜抵抗、塗膜容量値を表-3.2.7.3 に示す。

各部の分極抵抗値、塗膜抵抗値共に高い値を示しており、塗膜の健全性/防食性が保たれている事が分かる。

表-3.2.7.3 試験材 F-2 電気化学的測定結果

部位	一般部		
	飛沫帯	干満帯	海中部
分極抵抗_log($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	10.6	10.9	10.4
分極容量_log(F/cm^2)	-7.2	-10.1	-7.5
塗膜抵抗_log($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	10.8	10.1	11.0
塗膜容量_log(F/cm^2)	-10.8	-10.6	-10.6

(4) 断面観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察結果及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) による観察結果を図-3.2.7.7に示す。

エポキシ樹脂塗膜内の塩素については暴露環境に拘わらず全体に均一な分布を示しており傾斜若しくは局在的な分布は認められない。同時に測定した各元素の質量を合わせた中で塩素質量濃度も暴露環境に拘わらず0.4%未満であり、塗膜中への塩素の侵入は極微量であるものと判断する。またジンクリッチ塗膜層については、塩素及び酸素の分布強度が近似していることから、侵入した塩分により亜鉛の酸化が生じていることが観察される。しかしながら酸化は部分的に留まっており、ジンクリッチ塗膜層全体としては健全な状態を保っているものと判断する。

観察部位	環境	画像(全景)	C	O	Cl
エポキシ樹脂塗膜層	飛沫帯				
	干満帯				
	海中部				
暴露部		画像(全景)	Zn	O	Cl
ジンクリッチ塗膜層	飛沫帯				
	干満帯				
	海中部				

図-3.2.7.7 試験材 F-2 SEM/EDX による断面観察結果

(5) 塗膜下の腐食状況観察

観察結果を図-3.2.7.8に示す。

何れの観察部位からも赤錆の発生は観察されなかった。


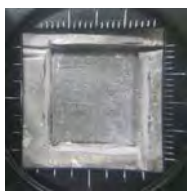
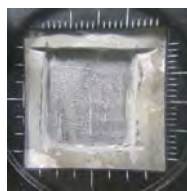
部位	一般部		
	飛沫帯	干満帯	海中部
			
赤錆の発生有無	なし	なし	なし

図-3.2.7.8 試験材F-2 塗膜下の腐食状況観察結果

3.2.7.3 まとめ

長期に渡る暴露期間にも関わらず、外観観察における塗膜状態は良好であった。

塗膜の一部を除去し、塗膜下の状態を見ても腐食している部位は認められず、暴露環境(飛沫帯、干満帯、海中部)の違いにかかわらず健全な防食性を保っていることが伺えた。

また、塗膜の付着力測定・電気化学的測定及び断面観察の各結果においても暴露環境の違いによる顕著な差は認められなかった。

これらの結果より、今回の暴露環境における超厚膜型エポキシ樹脂塗料防食系の有用性が確認されたものとする。

3.2.8 試験材 F-4

3.2.8.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.8.1、外観スケッチを図-3.2.8.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が見られたが、飛沫帯部にある付着力測定跡の補修部は健全であり、異状は認められなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着している状況であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.8.2 および写真-3.2.8.3、外観スケッチを図-3.2.8.2 に示す。

飛沫帯・干満帯・海中部に位置する付着力測定箇所の補修部には、浮きや剥離などの異状は見られず、健全な状態であった。また、海生生物が付着した箇所の塗膜の一部に貝の食い込みが認められたが、塗膜の割れや剥離は生じておらず、異状ないことが認められた。

(3) 膜厚

表-3.2.8.1 に膜厚の経時変化を示す。

膜厚の大きな変化はなかった。

表-3.2.8.1 試験材 F-4 の膜厚の経時変化

測定年度	経過年数	塗膜厚さ(μm)		
1993年	0年	3600	3700	3700
1998年	5年	3800	3700	3600
2008年	15年	3850	3650	3750
2011年	18年	3800	3800	3800
2013年	20年	3900	4000	4000

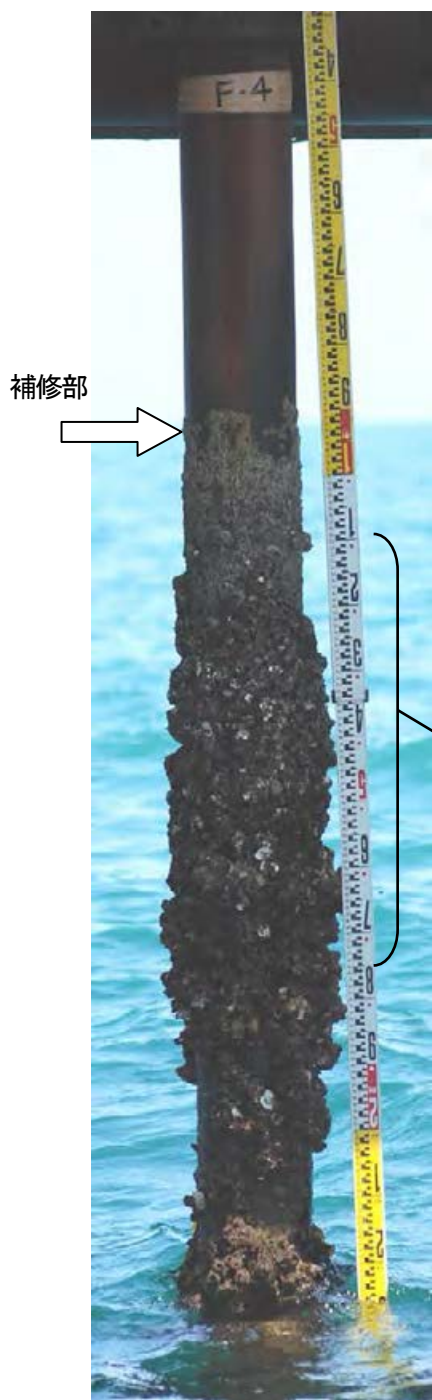
(4) 交流インピーダンス測定

表-3.2.8.2、図-3.2.8.3 および図-3.2.8.4 に交流抵抗値および静電容量の測定結果を示す。

1993年度暴露開始以来、経過年数とともに徐々に交流抵抗値は低下しているが、本年(2013年)は2011年と大差はなく、 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度を示しており、良好な塗膜状態であると考えられる。

(5) ピンホール測定

飛沫帯から海中部にかけてピンホールは検出されず、健全な状態であることが確認された。



施設側(西側)



補修部状況



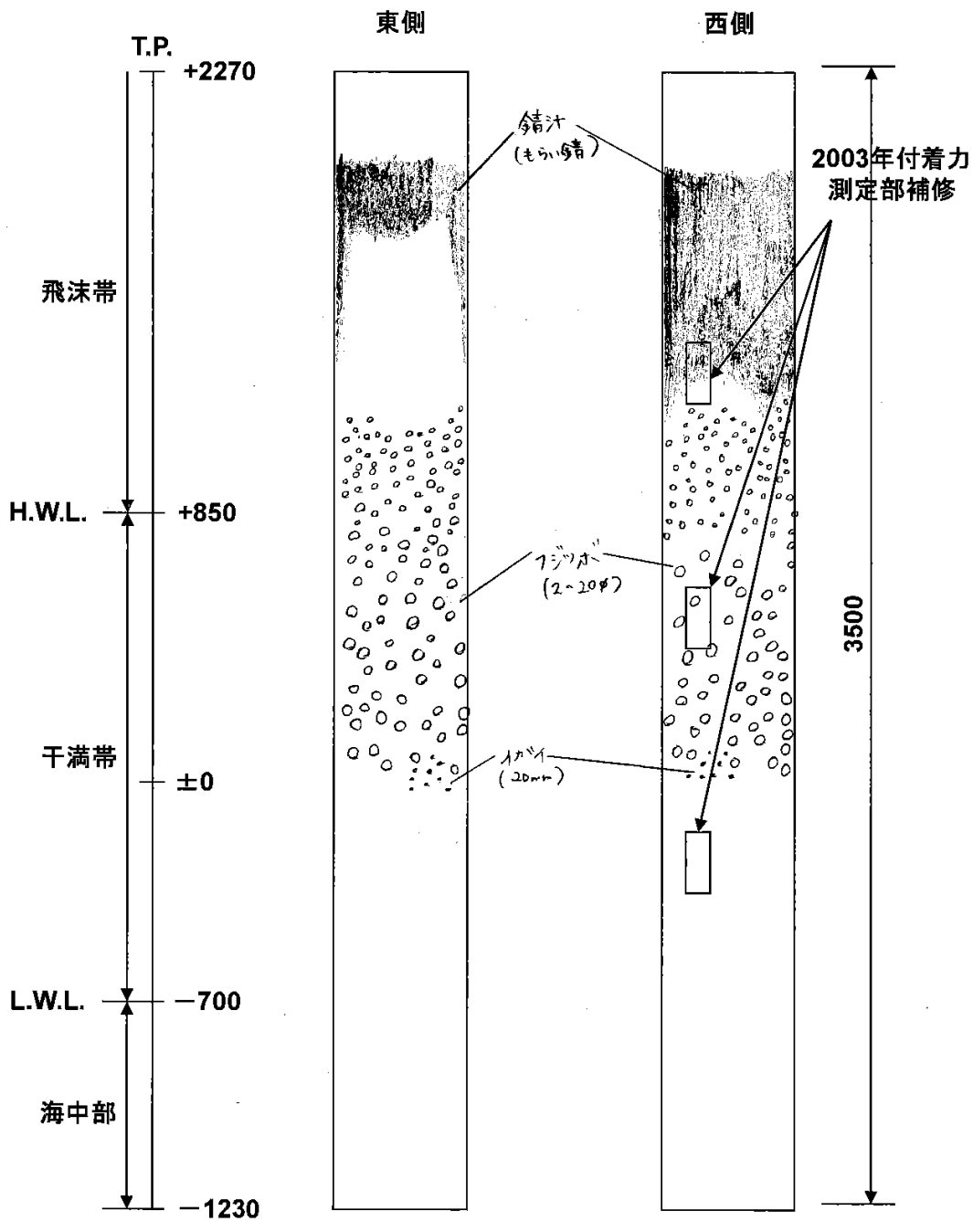
生物付着状況

継続暴露試験材

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+ポリウレタン(2500 μ m)

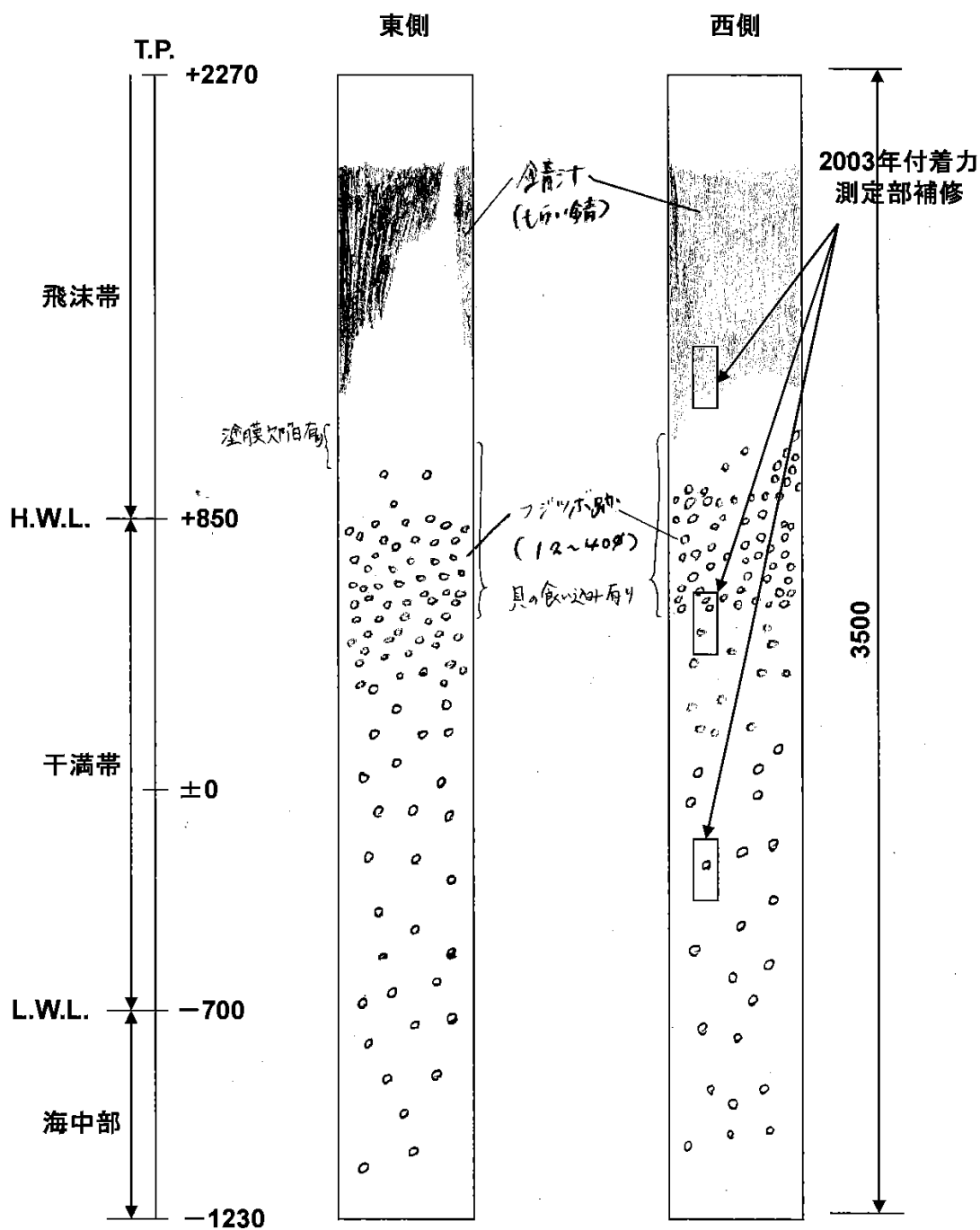
写真-3.2.8.1 試験材 F-4 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

防食系:ポリウレタン樹脂塗料
 防食仕様:プライマー(30 μ m)+ポリウレタン(2500 μ m)

図-3.2.8.1 試験材 F-4 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系: ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様: プライマー(30 μ m) + ポリウレタン(2500 μ m)

図-3.2.8.2 試験材 F-4 海生生物除去後の外観図

表-3.2.8.2 試験材F-4の交流抵抗値および静電容量の経時変化

F-4								
交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)					静電容量 (pF)			
年度	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz
1993年	0	4.59E+09	2.13E+09	1.27E+09	0			
1994年	1	3.97E+09	1.88E+09	1.05E+09	1	52.8	49.8	48.1
1995年	2	3.25E+09	1.75E+09	1.10E+09	2	40.3	37.2	35.4
1996年	3	2.09E+09	1.15E+09	7.05E+08	3	48.4	44.3	41.8
1997年	4	3.11E+09	1.57E+09	9.50E+08	4	45.4	43.3	41.5
1998年	5	2.14E+09	1.24E+09	8.04E+08	5	50.8	47.2	45
1999年	6	9.55E+08	7.14E+08	5.23E+08	6	53	47.2	44.5
2001年	8	5.20E+08	3.41E+08	2.46E+08	8	76	63.9	57.8
2003年	10	1.47E+09	9.40E+08	6.41E+08	10	45.5	40.7	38.3
2005年	12	2.01E+08	1.31E+08	9.34E+07	12	123	92.5	76.2
2008年	15	6.49E+08	3.16E+08	4.47E+08	15	139.5	123.5	120
2011年	18	5.76E+08	3.57E+08	2.43E+08	18	87	72.1	64.4
2013年	20	5.35E+08	5.01E+08	2.65E+08	20	90.2	75.3	67.3

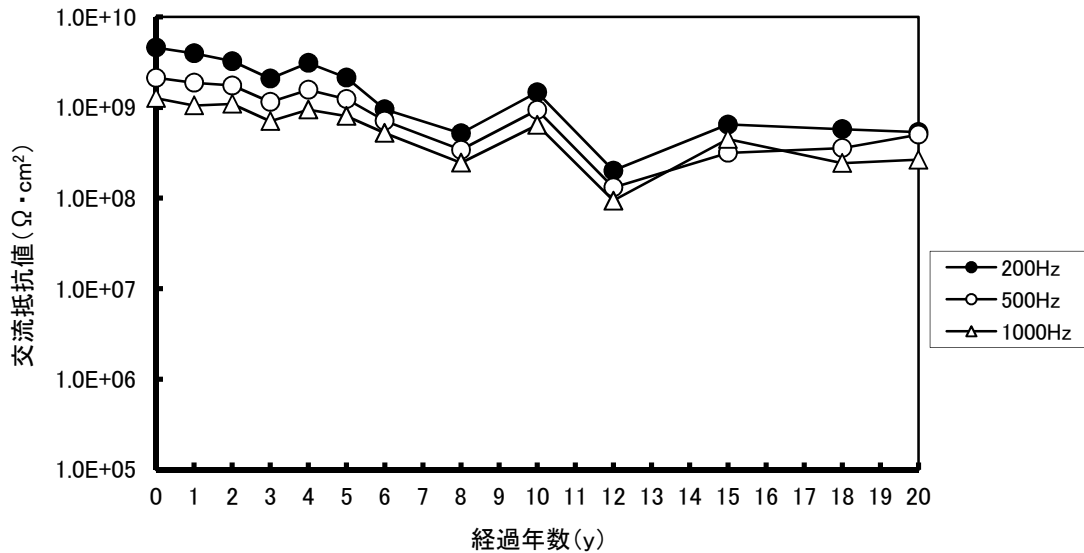


図-3.2.8.3 試験材F-4の交流抵抗値の経時変化

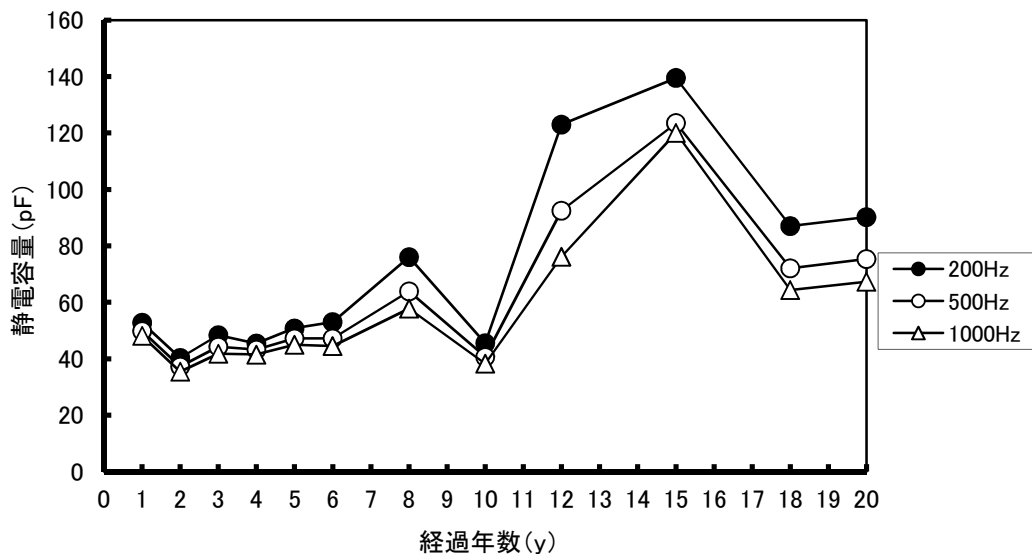


図-3.2.8.4 試験材F-4の静電容量の経時変化

試験材上端部



試験材下端部

①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③塗膜補修部(異状なし)



②塗膜補修部(異状なし)



④塗膜補修部(異状なし)



防食系:ポリウレタン樹脂塗料
 防食仕様:プライマー(30μm)
 ポリウレタン(2500μm)

写真-3.2.8.2 試験材F-4(西面)海生物除去後の外観状況



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②海生物(フジツボ類)の付着跡(一部塗膜に海生物の食い込みが認められる)



防食系:ポリウレタン樹脂塗料
 防食仕様:プライマー(30μm)
 ポリウレタン(2500μm)

写真-3.2.8.3 試験材F-4(東面)海生物除去後の外観状況

3.2.8.2 詳細調査

(1) 塗装部付着力測定

試験材の塗装部付着力測定結果を表-3.2.8.3に示す。

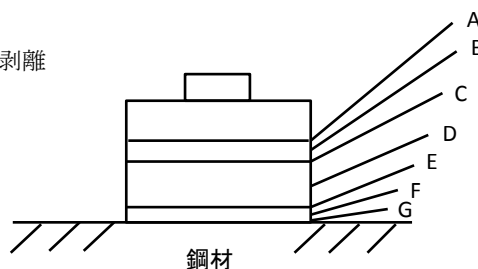
飛沫帯から干満帯においてプライマー凝集破壊およびプライマー/鋼材間での層間破断が多く見られたが、付着強度としては2003年調査時から大きな変化はなかった。

表-3.2.8.3 試験材F-4塗装部付着力測定結果

測定位置		付着強度 MPa	破断形態	試験面写真
飛沫帯	① 西 T.P.+1.27m	3.6	D: 40% E: 20% F: 30% G: 10%	
	② 西 T.P.+1.27m	4.3	D: 40% E: 10% F: 30% G: 20%	
	③ 西 T.P.+1.27m	5.8	D: 80% E: 10% F: 5% G: 5%	
干満帯	④ 西 T.P.+0.17m	2.7	D: 10% E: 40% F: 30% G: 20%	
	⑤ 西 T.P.+0.17m	1.1	D: 10% E: 60% F: 20% G: 10%	
	⑥ 西 T.P.+0.17m	3.7	D: 10% E: 10% F: 40% G: 40%	
海中部	⑦ 西 T.P.-0.88m	5.9	B: 90% D: 10%	
	⑧ 西 T.P.-0.88m	4.9	B: 90% D: 10%	
	⑨ 西 T.P.-0.88m	5.4	B: 70% D: 30%	

試験面破壊形態

- A: 付着強度測定用ドーリー-接着剤間の層間剥離
- B: 接着剤の凝集破壊
- C: 接着剤-供試材間の層間剥離
- D: 供試材の凝集破壊
- E: 供試材-プライマー間の層間剥離
- F: プライマーの凝集破壊
- G: プライマー-鋼材間での層間剥離



3.2.9 試験材 G-2

3.2.9.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.9.1に、外観スケッチを図-3.2.9.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色（薄い茶色）が見られたが、1997年に実施した飛沫帯の塗り残し部の補修箇所は健全であり、異状は認められなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけてフジツボ類が多量に付着している状況であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.9.2および写真-3.2.9.3に、外観スケッチを図-3.2.9.2に示す。

飛沫帯下部から干満帯中部および試験材下端部において、微小な塗膜の剥離（微小な欠損）がみられ、露出した鋼材素地面に軽微ではあるが腐食が認められた。その他の海生生物付着箇所の塗膜には問題となるような異状はなく、健全な状態であることが認められた。

(3) 膜厚測定

表-3.2.9.1に膜厚測定結果を示す。

表-3.2.9.1 試験材 G-2 の膜厚測定結果

測定位置	膜厚(μm)				
	①	②	③	平均	2011年平均
一般部 T.P.+1.60m	750	750	700	733	750
補修部 T.P.+1.40m	800	800	800	800	800

(4) 交流インピーダンス測定

表-3.2.9.2、図-3.2.9.3および図-3.2.9.4に一般部（初期塗装部）の交流抵抗値および静電容量の測定結果を、表-3.2.9.3、図-3.2.9.5および図-3.2.9.6に補修部の交流抵抗値および静電容量の測定結果を示す。

一般部、補修部ともに交流抵抗値に大きな変動は無く、 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度の高抵抗値を示しており、良好な塗膜状態であると考えられる。

(5) ピンホール測定

飛沫帯下部から干満帯中部および試験材下端部において、微小な塗膜剥離箇所にてピンホールが検出された（試験材南面で4箇所、北面で3箇所）。



施設側(南側)



海生成物付着状況

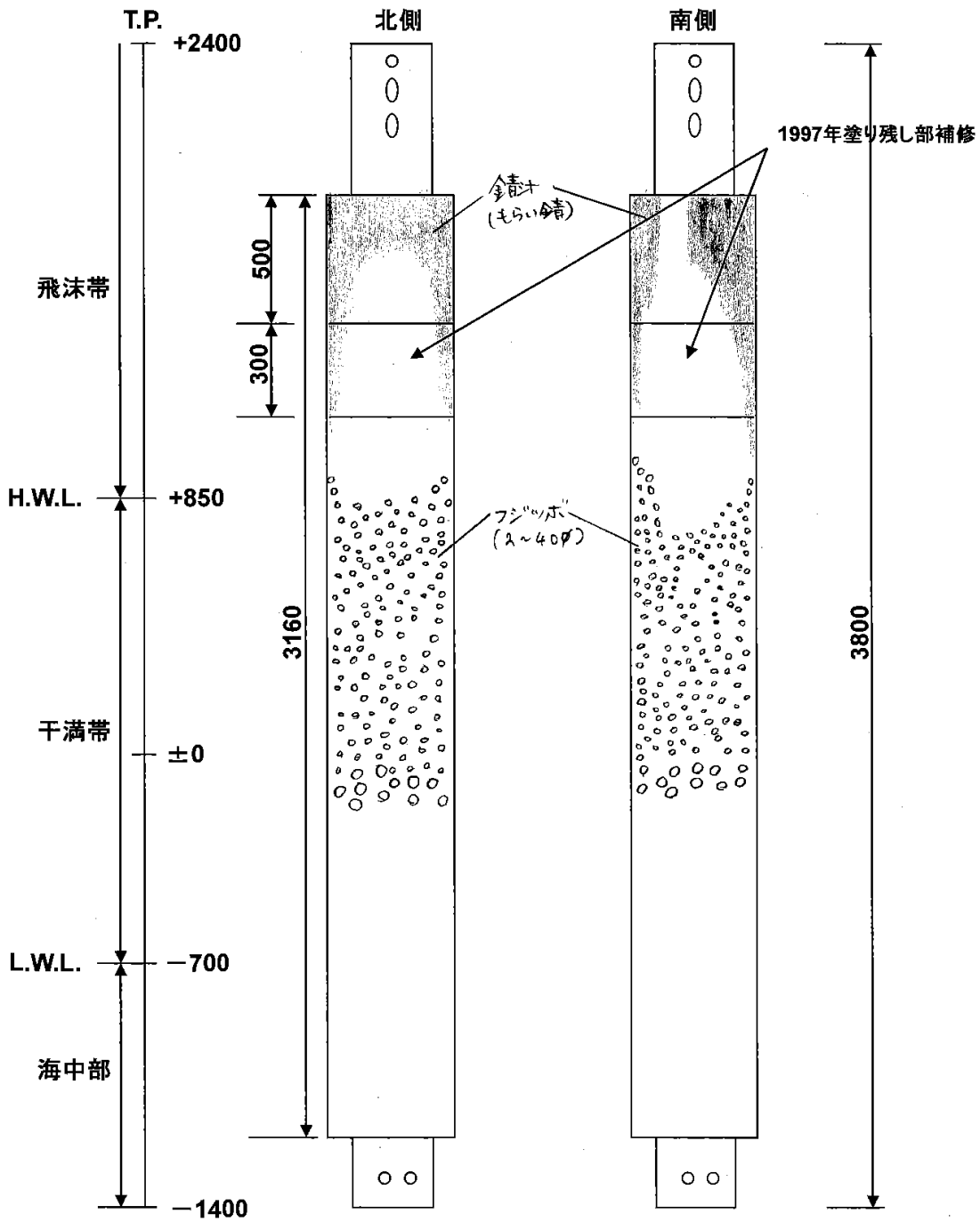
継続暴露試験材

防食系: GF 入りビニルエステル

防食仕様: 一般部 OZP(20 μ m) + GF 入りビニルエステル(350 μ m \times 2)

補修部 変性エポキシ(50 μ m) + GF 入り着色ビニルエステル(350 μ m \times 2)

写真-3.2.9.1 試験材 G-2 海生物除去前の外観状況写真



(mm)

図-3. 2. 9. 1 試験材 G-2 海生生物除去前の外観図

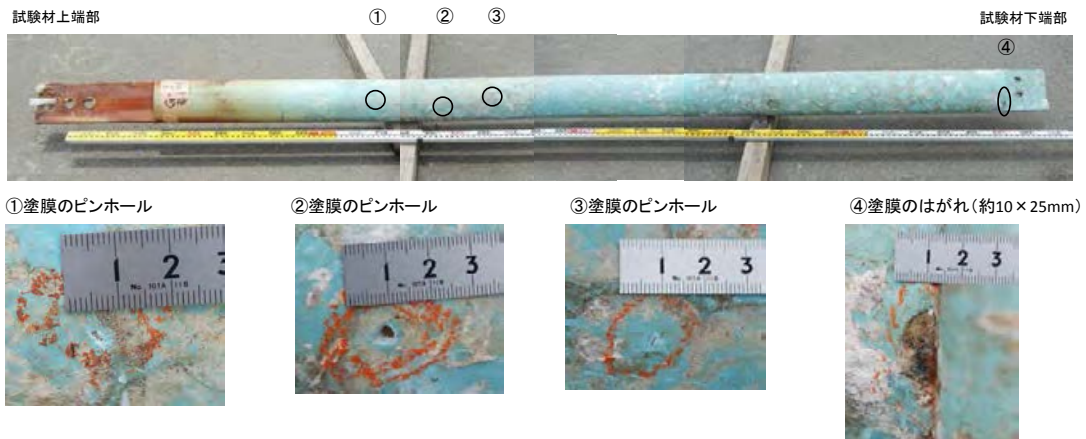


写真-3. 2. 9. 2 試験材 G-2 (南面) 海生生物除去後の外観状況

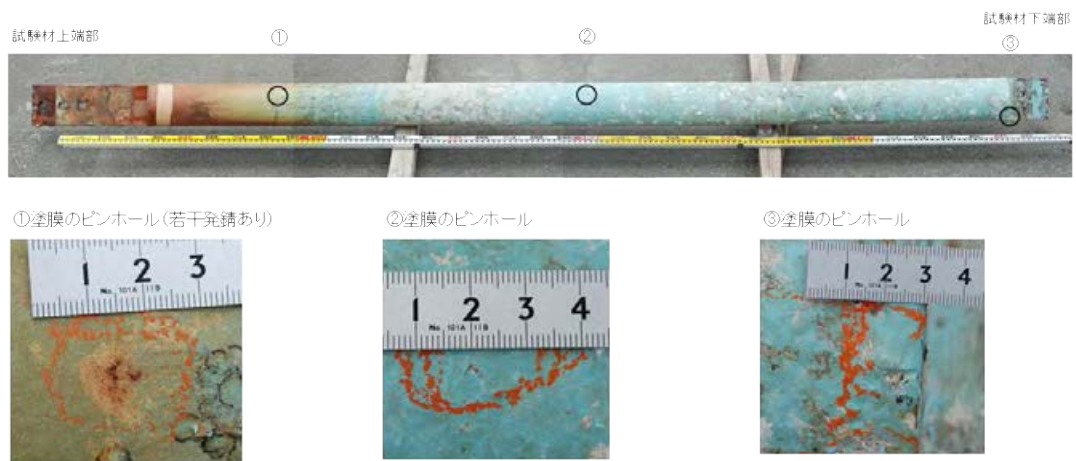
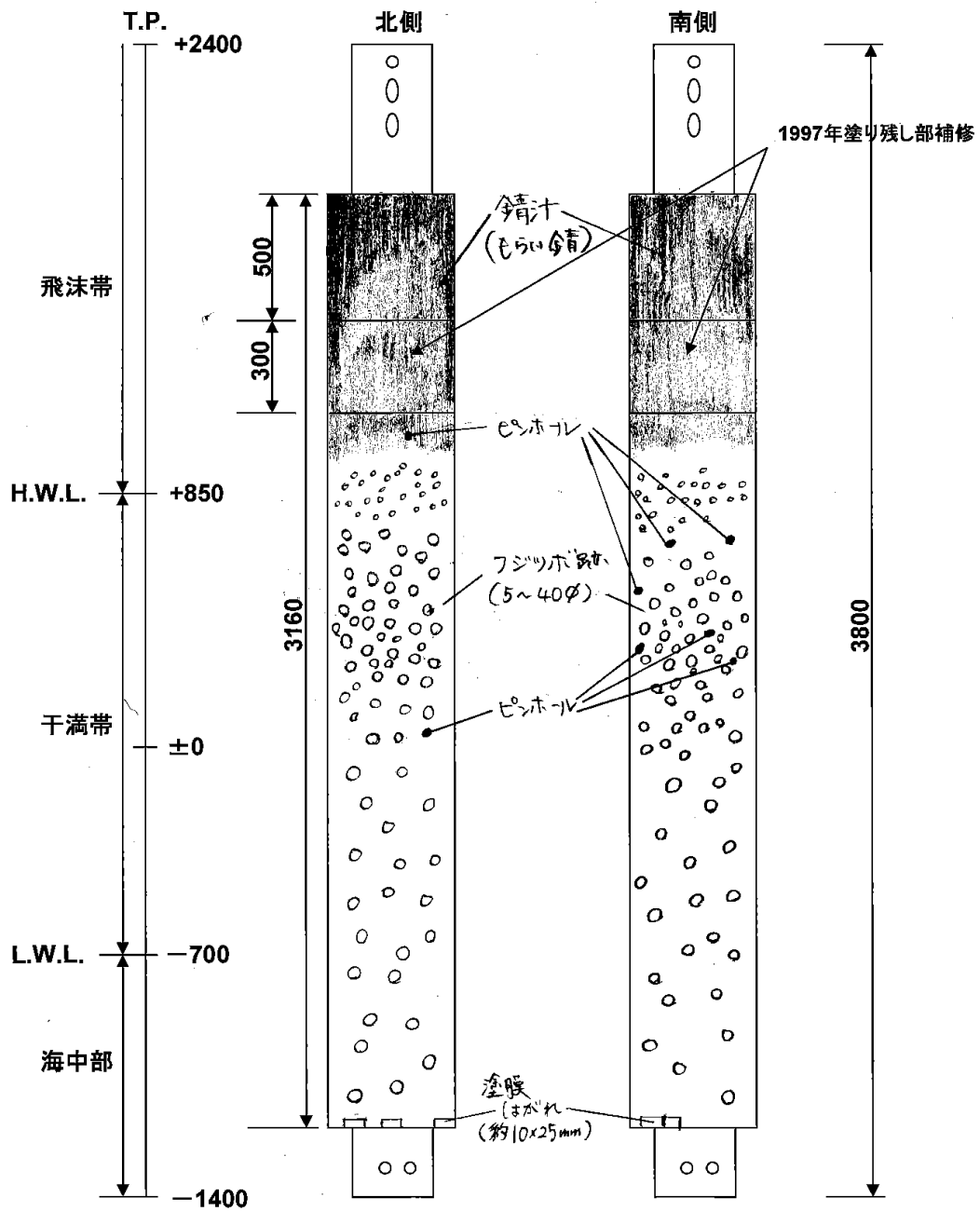


写真-3. 2. 9. 3 試験材 G-2 (北面) 海生生物除去後の外観状況



(mm)

図-3. 2. 9. 2 試験材 G-2 海生生物除去後の外観図

表-3.2.9.2 試験材 G-2 の交流抵抗値および静電容量の経時変化（一般部）

G-2(一般部)								
年度	経過年数	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			
		200Hz	500Hz	1000Hz	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz
1993年	0				0			
1994年	1				1			
1995年	2				2			
1996年	3				3			
1997年	4				4			
1998年	5				5			
1999年	6				6			
2001年	8				8			
2003年	10				10			
2005年	12	3.26E+08	1.91E+08	1.26E+08	12	302	280	267
2008年	15	2.03E+08	1.21E+08	1.23E+08	15	172	147	140
2011年	18	3.08E+08	1.66E+08	9.10E+07	18	298	263	243
2013年	20	3.19E+08	1.59E+08	8.97E+07	20	265	236	224

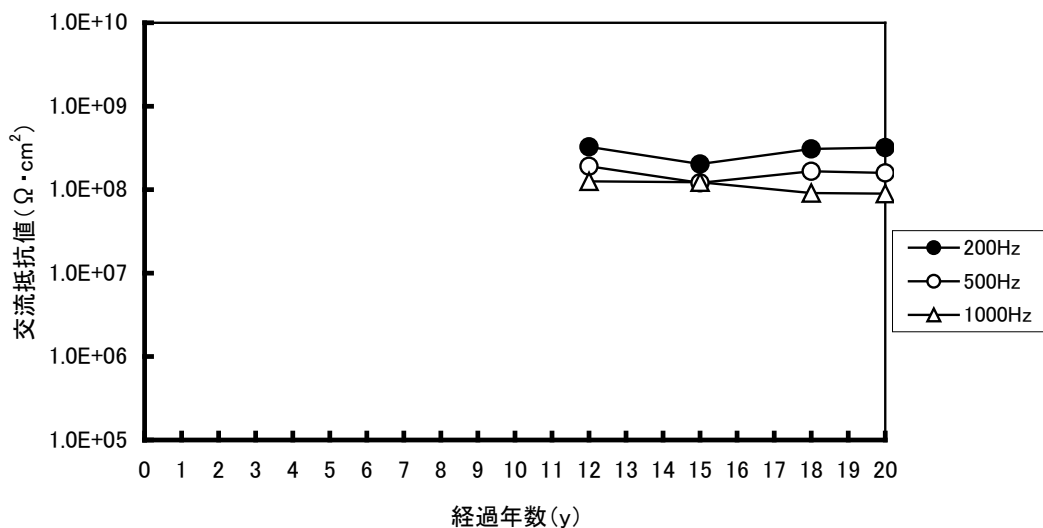


図-3.2.9.3 試験材 G-2 の交流抵抗値の経時変化（一般部）

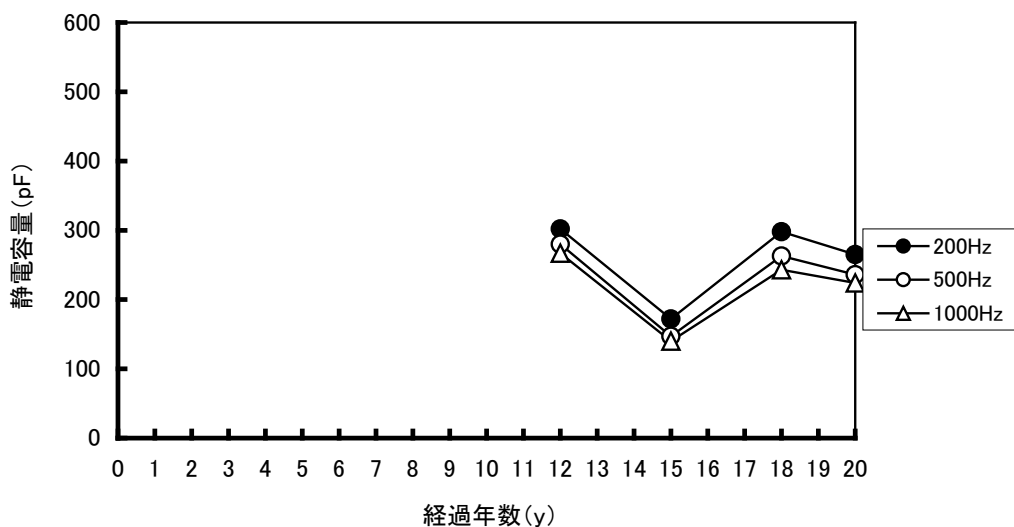


図-3.2.9.4 試験材 G-2 の静電容量の経時変化（一般部）

表-3.2.9.3 試験材 G-2 の交流抵抗値および静電容量の経時変化 (補修部)

G-2 (補修部)								
年度	経過年数	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			
		200Hz	500Hz	1000Hz	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz
1993年								
1994年								
1995年								
1996年								
1997年	0				0			
1998年	1				1			
1999年	2				2			
2001年	4				4			
2003年	6				6			
2005年	8	3.27E+08	1.94E+08	1.30E+08	8	236	213	199
2008年	11	1.78E+08	9.82E+07	8.59E+07	11	520	477	450
2011年	14	3.45E+08	1.67E+08	1.21E+08	14	406	380	361
2013年	16	3.08E+08	9.93E+07	7.58E+07	16	414	350	324

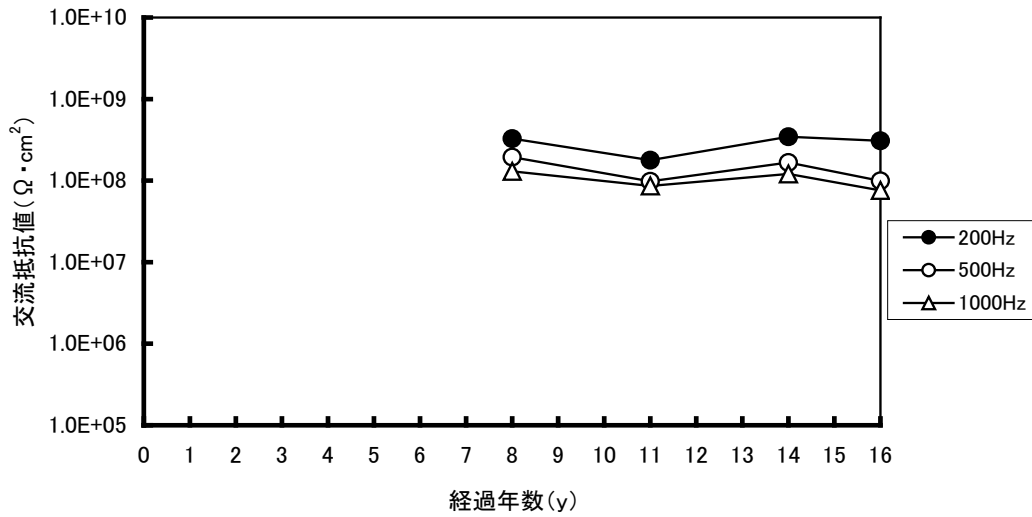


図-3.2.9.5 試験材 G-2 の交流抵抗値の経時変化 (補修部)

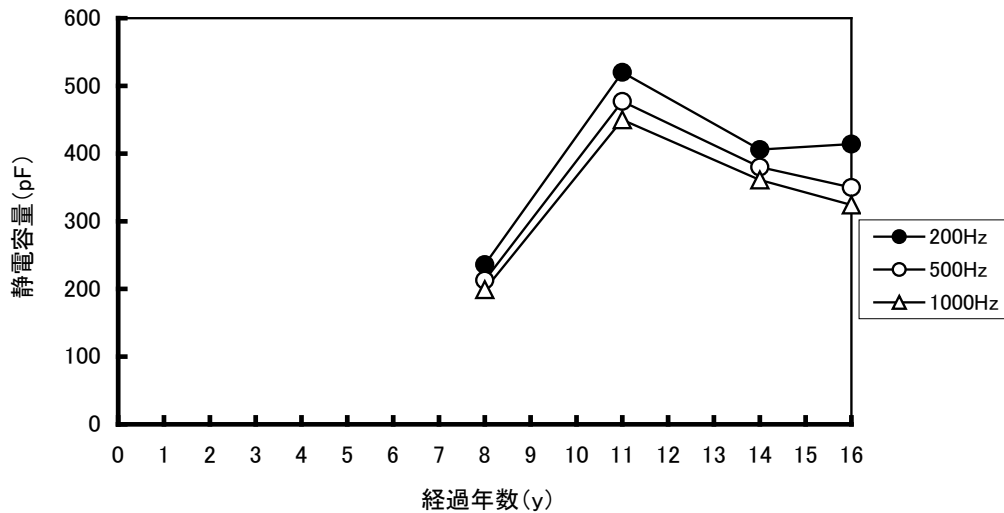


図-3.2.9.6 試験材 G-2 の静電容量の経時変化 (補修部)

3.2.9.2 詳細調査

3.2.9.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

目視にて塗膜の状態を観察した。

(2) 付着力測定

ポジテスタを用いて各部の付着力を測定した (N=2)。

(3) 電気化学的測定

カレントインタラプタ法により、分極抵抗、分極容量、塗膜抵抗、塗膜容量を測定した。

(4) 断面観察

塗膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察した。また合わせてエネルギー分散型X線分析(EDX)により主要な元素の分布状態を観察し、特に塗膜内への塩分の侵入度合い及びジンクリッチ層の酸化具合を観察した。

(5) 塗膜下の腐食状況観察

目視(ルーペ)により塗膜剥離後の鋼材の状態を観察し、腐食の発生を確認した。

3.2.9.2.2 詳細調査結果

(1) 塗膜外観観察

図-3.2.9.7に結果を示す。

一部色落ちをしている箇所があるものの全体的に良好な状態を保っている。





部位	一般部			補修部
	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯
結果				
	もらい錆あるが、顕著な劣化なし	顕著な劣化なし	顕著な劣化なし	顕著な劣化なし

図-3.2.9.7 試験材 G-2 塗膜外観観察結果

(2) 付着力測定

図-3.2.9.8 に結果を示す。

全体的に高い付着性を示しており、また剥離位置も塗膜内凝集破壊が主体であり、塗膜の健全性が伺える。









部位	一般部			補修部
	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯
No1				
付着強度 (MPa)	19.2	17.4	17.4	5.1
No2				
付着強度 (MPa)	11.1	20.3	13.7	8.2
AV (MPa)	15.2	18.9	15.6	6.7

図-3.2.9.8 試験材 G-2 塗膜外観観察結果

(3) 電気化学的測定

カレントインタラプタ法により測定した分極抵抗、分極容量、塗膜抵抗、塗膜容量値を表-3.2.9.4 に示す。

各部の分極抵抗値、塗膜抵抗値共に高い値を示しており、塗膜の健全性/防食性が保たれている事が分かる。

表-3.2.9.4 試験材 G-2 電気化学的測定結果

部位	一般部			補修部
	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯
分極抵抗_log($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	11.0	11.1	10.8	10.4
分極容量_log(F/cm^2)	-8.6	-7.7	-8.4	-8.7
塗膜抵抗_log($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	10.8	10.3	10.4	11.1
塗膜容量_log(F/cm^2)	-10.2	-10.0	-10.2	-10.6

(4) 断面観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察結果及びエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) による観察結果を図-3.2.9.9 に示す。

GF入りビニルエステル樹脂塗膜内の塩素については暴露環境に拘わらず全体に均一な分布を示しており傾斜若しくは局所的な分布は認められない。同時に測定した各元素の質量を合わせた中での塩素質量濃度も各観察部位共に0.2%未満であり、塗膜中への塩素の侵入は極微量であるものと判断する。また、各ジンクリッチ層では酸素の分布が僅かであることから、酸化は進んでおらず健全な状態を保っているものと判断する。

観察部位	環境	画像(全景)	C	O	Cl
GF入り ビニルエステル 塗膜層	飛沫帯 (一般部)				
	飛沫帯 (補修部)				
	干満帯				
	海中部				
	暴露部	画像(全景)	Zn	O	Cl
ジンクリッチ 塗膜層	飛沫帯 (一般部)				
	干満帯				
	海中部				

図-3.2.9.9 試験材 G-2 SEM/EDX による断面観察結果

(5) 塗膜下の腐食状況観察

観察結果を図-3.2.9.10に示す。

一般部には赤錆は観察されていないが、補修部には僅かに赤錆が見られた。

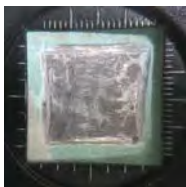
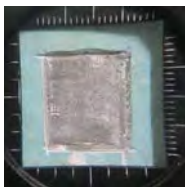
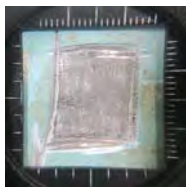

部位	一般部			補修部
	飛沫帯	干満帯	海中部	飛沫帯
				
赤錆の発生有無	なし	なし	なし	あり

図-3.2.9.10 試験材 G-2 塗膜下観察結果

3.2.9.3 まとめ

長期に渡る暴露期間にも関わらず、外観観察における塗膜状態は良好であった。特に施工時の制約条件が厳しい飛沫帯における補修部においても外観から観察できうる顕著な劣化・腐食は認められなかった。

一般部では、塗膜の一部を除去し塗膜下の状態を見ても暴露環境(飛沫帯、干満帯、海中部)の違いに拘わらず腐食している部位は認められず、健全な防食性を保っていることが伺えた。

補修部では、塗膜下の観察では一部腐食が認められたものの多くは健全な状態であり、この腐食が暴露によって生じたものか或いは補修時におけるケレン不足等により生じたものかの判断出来ない。付着力の値が一般部と比較すれば低いものの、素地調整やプライマーの種類などが異なるため単純比較は出来ず、付着力自体は十分なものであると判断する。

また電気化学的測定結果からは、一般部、補修部ともに塗膜の健全性が示されていた。

これらの結果より、今回の暴露環境におけるガラスフレーク入りビニルエステル防食系の有用性が確認されたものとする。

3.2.10 試験材 C-5

3.2.10.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.10.1、外観スケッチを図-3.2.10.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が見られたが、2003年に実施した飛沫帯の付着力測定箇所の補修部は健全であり、異状は認められなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけてフジツボ類が多量に付着している状況であったが、干満帯中間部付近は、フジツボ類が一部脱落し、比較的付着量は少なくなっていた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.10.2および写真-3.2.10.3、外観スケッチを図-3.2.10.2に示す。

海生生物付着部位で、フジツボ類の貝の一部が塗膜に食い込んでいる状態が認められたが、これらの箇所での塗膜のわれや剥離は認められず、健全な状態であった。一方、海中部に位置する部位に長さ約1m程度あて傷による塗膜損傷がみられ、一部は鋼材素地面が露出し、φ30mm程度腐食していることが認められた。

(3) 膜厚

表-3.2.10.1に膜厚の経時変化を示す。

膜厚の大きな変化はなかった。

表-3.2.10.1 試験材 C-5 の膜厚の経時変化

測定年度	経過年数	塗膜厚さ(μm)		
1991年	1年	4200	4200	4300
1993年	3年	3800	3800	3900
1998年	8年	3700	4000	3700
2008年	18年	3300	3550	3500
2011年	21年	3400	3500	3400
2013年	23年	3450	3400	3450

(4) 交流インピーダンス測定

表-3.2.10.2、図-3.2.10.3および図-3.2.10.4に交流抵抗値および静電容量の測定結果を示す。

1990年度暴露開始以来、交流抵抗値はほとんど変化しておらず、 $10^9 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 程度を示しており、良好な塗膜状態であると考えられる。

(5) ピンホール測定

飛沫帯から干満帯にかけてピンホールは検出されず、健全な状態であることが確認された。

海中部においてピンホールが検出されたがいずれもあて傷による塗膜の損傷が原因であり塗膜の経年劣化によるものではなく、その他の部位は健全な状態であることが確認された。



施設側(東側)



補修部外観状況



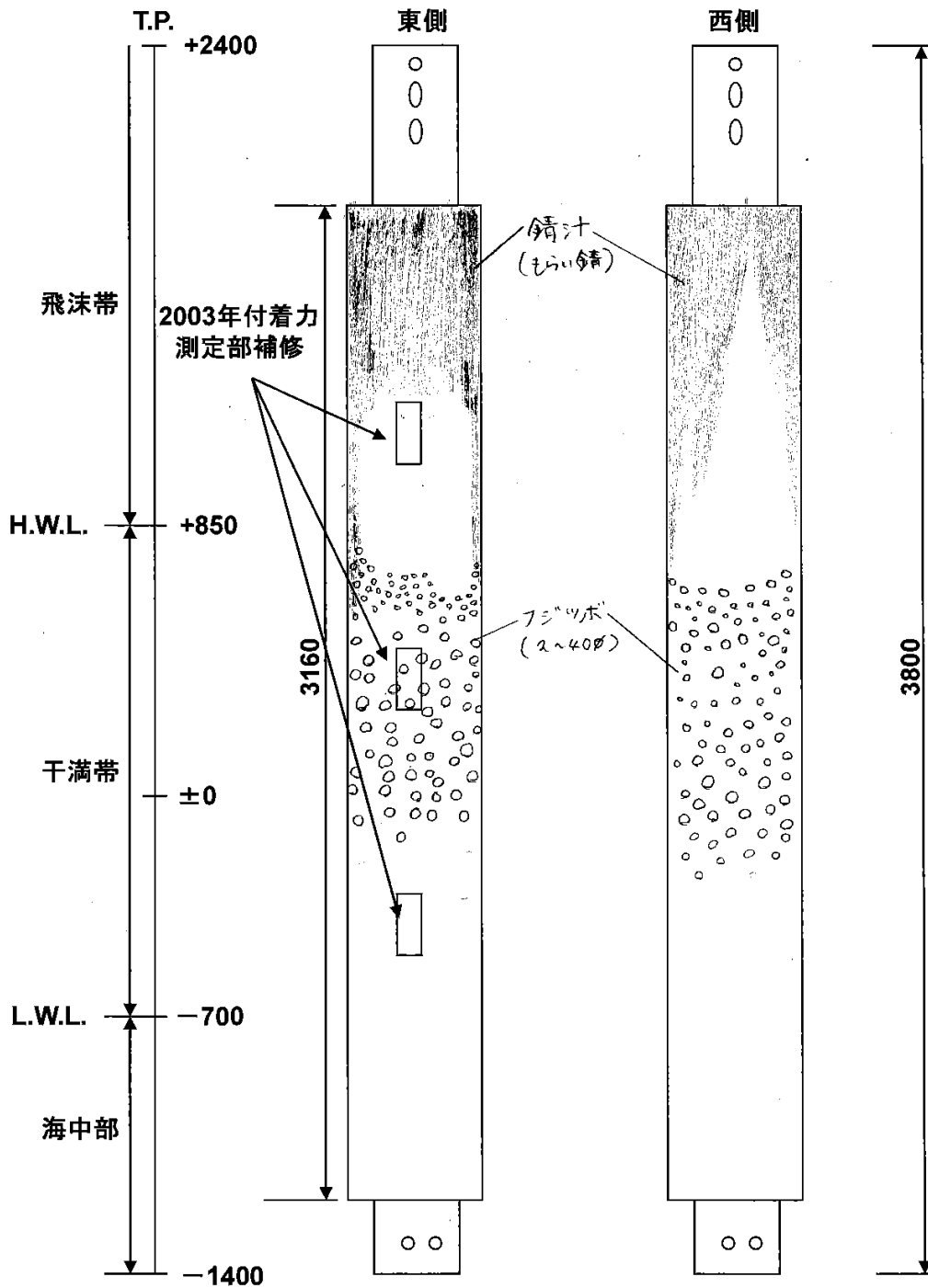
H.W.L.~±0m 付近状況

継続暴露試験材

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+着色ポリウレタン(緑 2500 μ m)

写真-3.2.10.1 試験材 C-5 海生生物除去前の外観状況写真

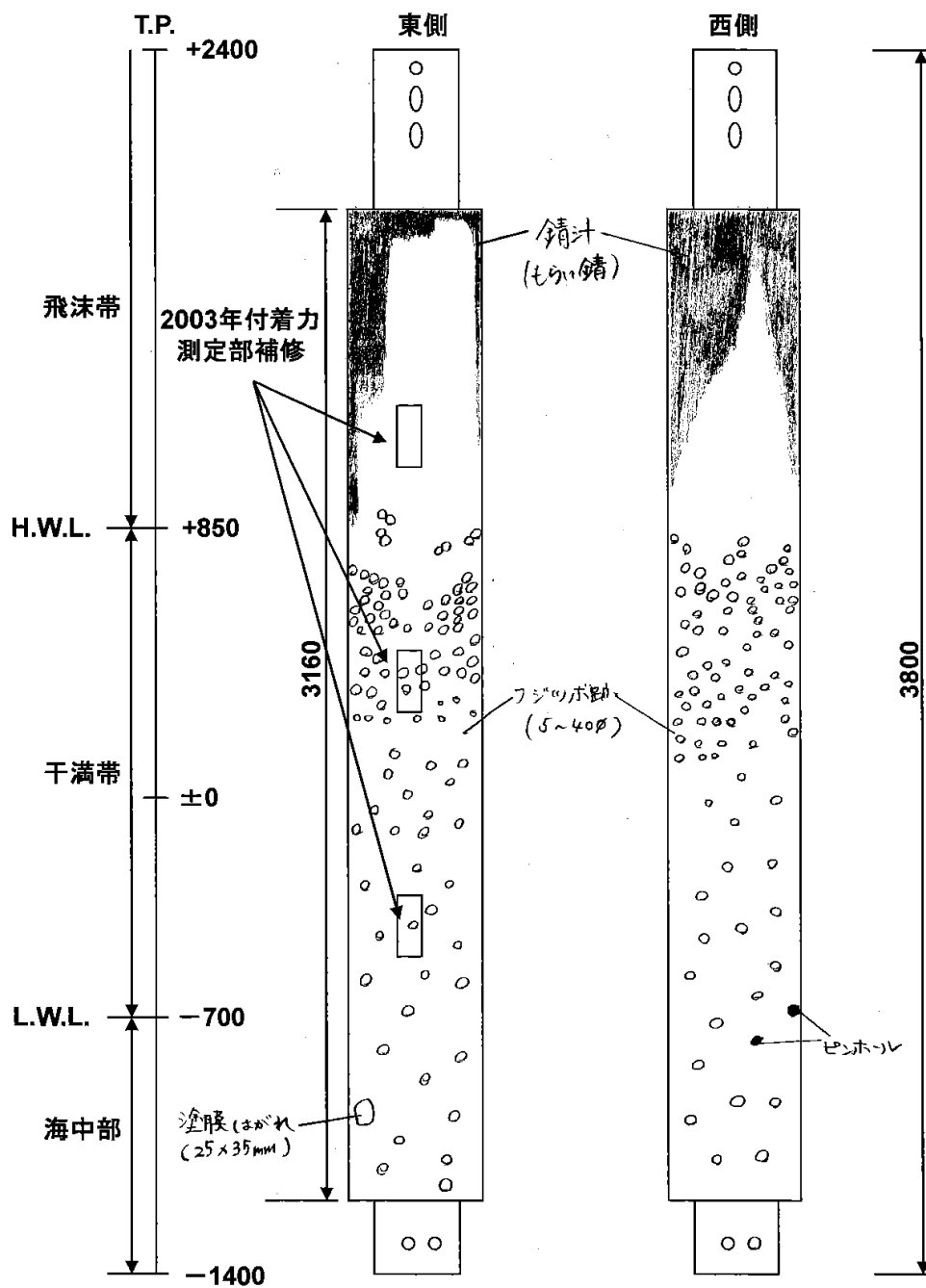


(mm)

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+着色ポリウレタン(緑 2500 μ m)

図-3.2.10.1 試験材 C-5 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+着色ポリウレタン(緑 2500 μ m)

図-3.2.10.2 試験材 C-5 海生生物除去後の外観図

表-3.2.10.2 試験材C-5の交流抵抗値および静電容量の経時変化

C-5								
年度	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (pF)			
	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz
1991年	1	1.18E+09	5.98E+08	3.88E+08	1			
1992年	2	2.35E+09	1.29E+09	9.25E+08	2	43.0	39.0	36.8
1993年	3	3.58E+09	1.73E+09	1.04E+09	3			
1994年	4	2.54E+09	1.29E+09	7.73E+08	4	55.6	51.8	49.5
1995年	5	1.97E+09	1.02E+09	6.21E+08	5	63.2	57.7	54.8
1996年	6	1.56E+09	8.70E+08	5.58E+08	6	55.0	49.2	46.0
1997年	7	2.81E+09	1.31E+09	2.93E+08	7	41.0	48.0	50.0
1998年	8	1.11E+09	6.35E+08	4.05E+08	8	69.5	62.7	58.8
1999年	9	2.65E+09	1.33E+09	7.63E+08	9	53.7	50.0	47.4
2001年	11	1.01E+09	5.83E+08	3.79E+08	11	68.9	60.4	55.8
2003年	13	1.36E+09	8.10E+08	5.17E+08	13	68.2	60.7	57.5
2005年	15	1.95E+09	1.12E+09	7.37E+08	15	49.4	42.4	40.0
2008年	18	1.54E+09	7.79E+08	6.23E+08	18	70.5	64.3	60.5
2011年	21	1.19E+09	5.00E+08	3.03E+08	21	115	101.6	93.9
2013年	23	1.18E+09	5.41E+08	2.94E+08	23	116	105	90.1

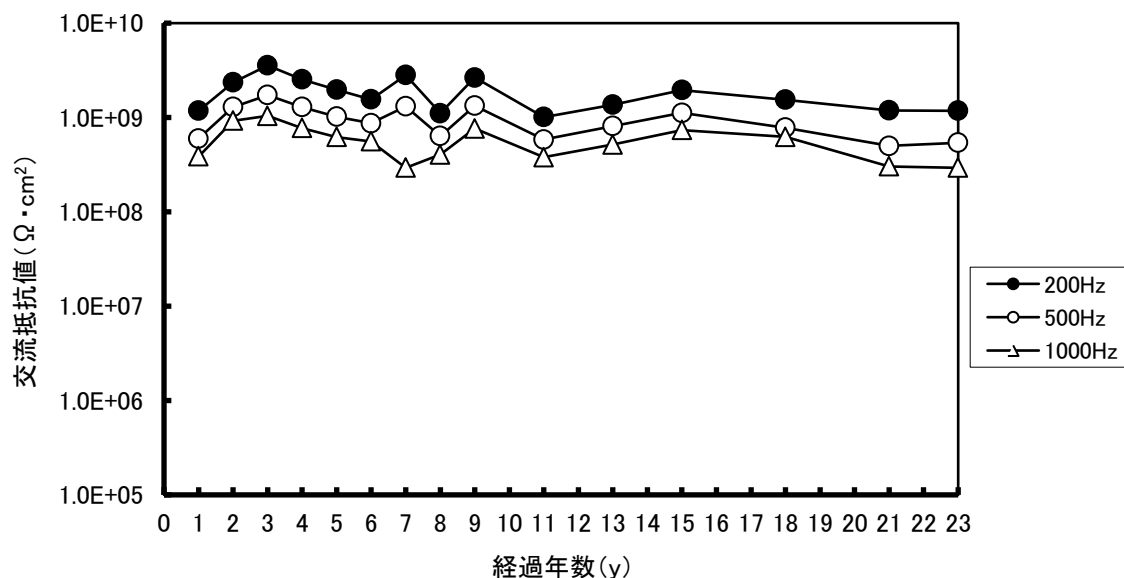


図-3.2.10.3 試験材C-5の交流抵抗値の経時変化

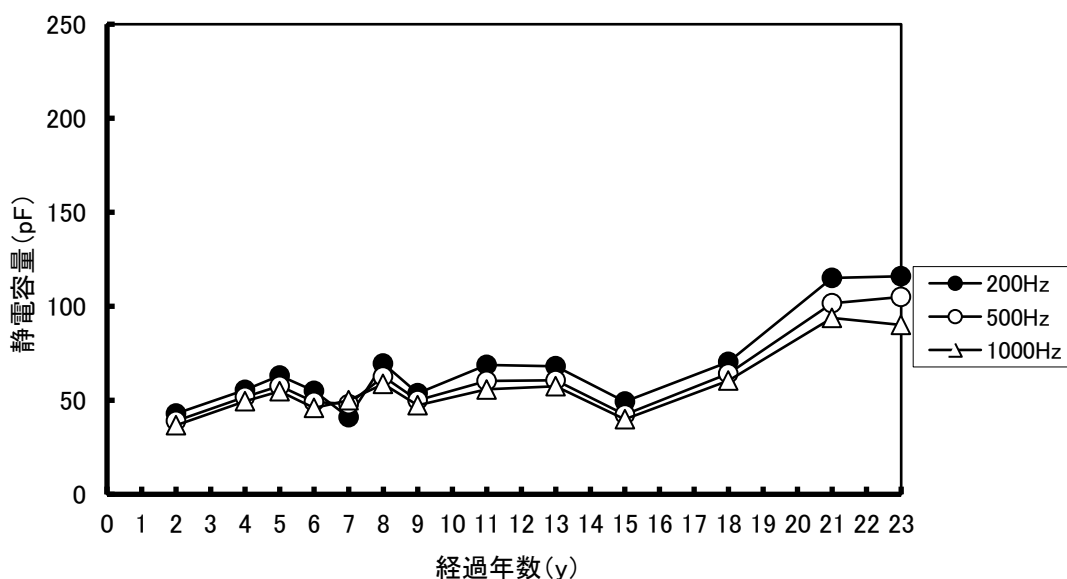


図-3.2.10.4 試験材C-5の静電容量の経時変化

試験材下端部
②

①



①海生物(フジツボ類)の付着が認められ、一部塗膜に食い込んでいる状況がみられる



②あて傷による鋼材素地面の露出(約25 x 35mm)



防食系:ポリウレタン樹脂塗料
防食仕様:ポリウレタン系プライマー(30μm)
着色ポリウレタン(緑 2500μm)

写真-3.2.10.2 試験材C-5(東面)海生物除去後の外観状況

試験材下端部



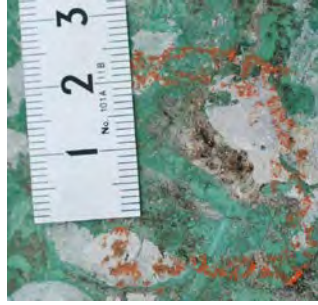
①飛沫帯の試験材表面に、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②塗膜への海生生物(フジツボ類)の食い込み



③あて傷による塗膜の損傷(ピンホール)



④あて傷による塗膜の損傷(ピンホール)



防食系:ポリウレタン樹脂塗料
防食仕様:ポリウレタン系プライマー(30μm)
着色ポリウレタン(緑 2500μm)

写真-3.2.10.3 試験材C-5(西面)海生生物除去後の外観状況

3.2.10.2 詳細調査

(1) 塗装部付着力測定

試験材の塗装部付着力測定結果を表-3.2.10.3に示す。

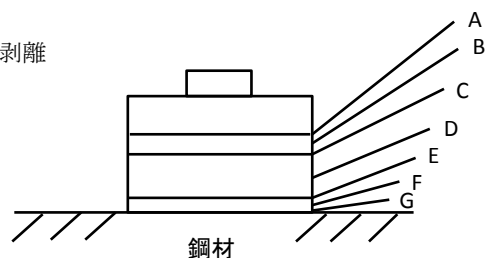
全体的に高い付着強度を示しており、破断形態も接着剤または供試材凝集であった。

表-3.2.10.3 試験材C-5塗装部付着力測定結果

測定位置		付着強度 MPa	破断形態	試験面写真
飛沫帯	① 西 T.P.+1.4m	6.9	B: 95% D: 5%	
	② 西 T.P.+1.4m	7.0	B: 95% D: 5%	
	③ 西 T.P.+1.4m	8.5	B: 90% D: 10%	
干満帯	④ 西 T.P.+0.3m	8.1	B: 70% D: 30%	
	⑤ 西 T.P.+0.3m	7.7	B: 90% D: 10%	
	⑥ 西 T.P.+0.3m	6.0	A: 100%	
海中部	⑦ 西 T.P.-0.7m	7.0	A: 90% D: 10%	
	⑧ 西 T.P.-0.70m	9.8	A: 60% D: 40%	
	⑨ 西 T.P.-0.70m	8.3	A: 80% D: 20%	

試験面破壊形態

- A: 付着強度測定用ドーリー-接着剤間の層間剥離
- B: 接着剤の凝集破壊
- C: 接着剤-供試材間の層間剥離
- D: 供試材の凝集破壊
- E: 供試材-プライマー間の層間剥離
- F: プライマーの凝集破壊
- G: プライマー-鋼材間での層間剥離



3.2.11 試験材 C-6

3.2.11.1 現地調査

(1) 外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.11.1、外観スケッチを図-3.2.11.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)がみられたが、2003 年に実施した飛沫帯の付着力測定箇所の補修部は健全であり、異状は認められなかった。海生生物の付着状況は、干満帯(H.W.L.)から海中部にかけてフジツボ類(φ5～φ40)が多量に付着している状況であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.2.11.2 および写真-3.2.11.3、外観スケッチを図-3.2.11.2 に示す。

飛沫帯・干満帯・海中部の付着力測定箇所補修部は浮きや剥離などの損傷はなく、健全な状態であることが認められた。一般部においては、フジツボ類が付着した箇所の塗膜の一部に貝の食い込みが一部みられたが、塗膜の割れや剥離は認められず、健全な状態を維持していることが確認された。

(3) 膜厚

表-3.2.11.1 に膜厚の経時変化を示す。

膜厚の大きな変化はなかった。

表-3.2.11.1 試験材 C-6 の膜厚の経時変化

測定年度	経過年数	塗膜厚さ(μm)		
1991年	1年	3500	3400	3550
1993年	3年	3200	3300	3300
1998年	8年	3400	3400	3400
2008年	18年	3550	3550	3500
2011年	21年	3600	3600	3600
2013年	23年	3600	3600	3650

(4) 交流インピーダンス測定

表-3.2.11.2、図-3.2.11.3 および図-3.2.11.4 に交流抵抗値および静電容量の測定結果を示す。

1990年度暴露開始から13年経過後より、経過年数とともに徐々に交流抵抗値は低下している傾向が見られるが、それでも $10^8 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上を示しており、良好な塗膜状態であると考えられる。

(5) ピンホール測定

飛沫帯から海中部にかけてピンホールは検出されず、健全な状態であることが確認された。



施設側(東側)

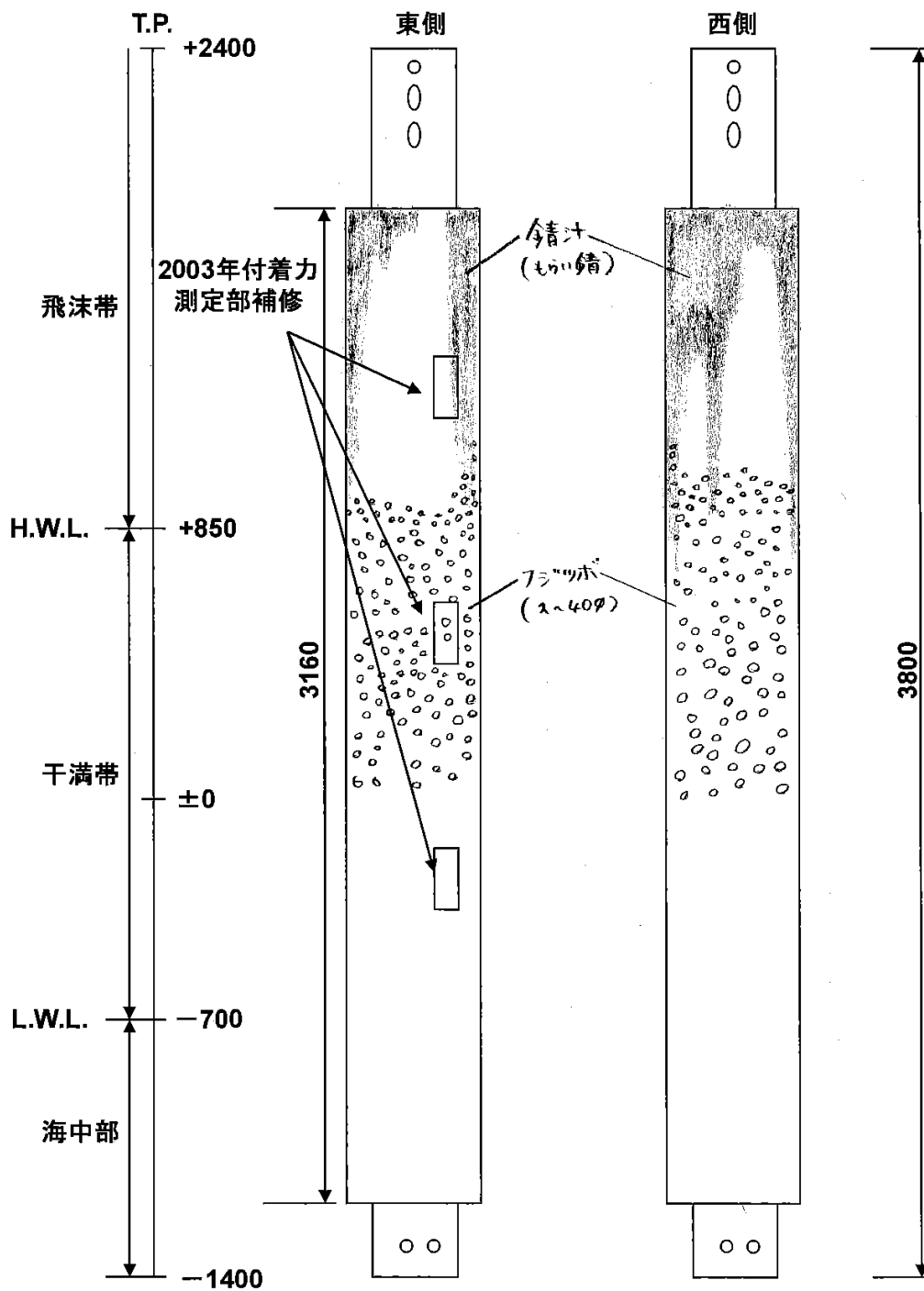


海生生物付着状況

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+黒色ポリウレタン(黒 2500 μ m)

写真-3.2.11.1 試験材 C-6 海生生物除去前の外観状況写真

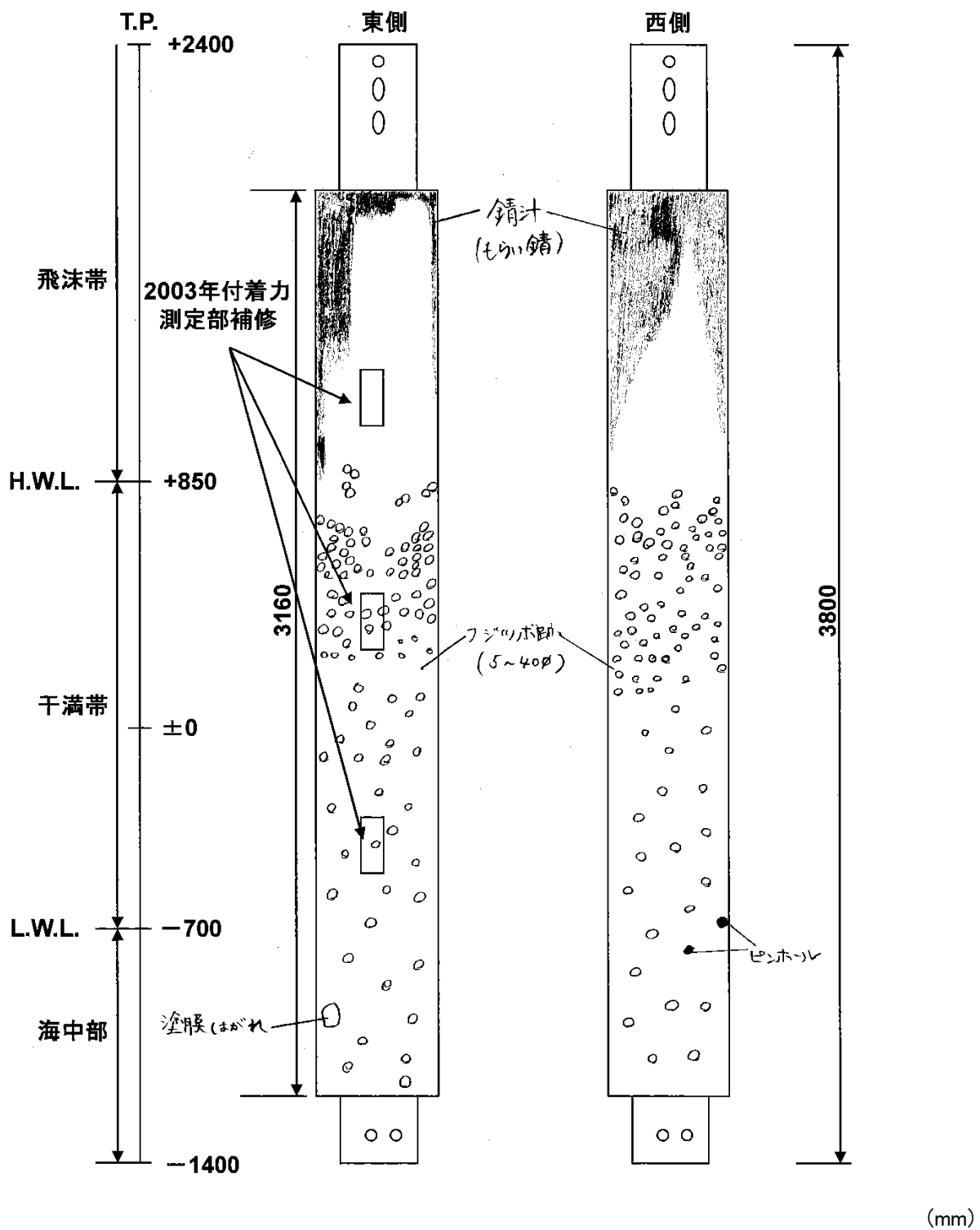


(mm)

防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+黒色ポリウレタン(黒 2500 μ m)

図-3.2.11.1 試験材 C-6 海生生物除去前の外観図



防食系:ポリウレタン樹脂塗料

防食仕様:プライマー(30 μ m)+黒色ポリウレタン(黒 2500 μ m)

図-3.2.11.2 試験材 C-6 海生生物除去後の外観図

表-3.2.11.2 試験材C-6の交流抵抗値および静電容量の経時変化

C-6								
年度	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (pF)			
	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz	経過年数	200Hz	500Hz	1000Hz
1991年	1	2.17E+09	1.20E+09	7.50E+08	1			
1992年	2	3.71E+09	1.86E+09	1.26E+09	2	41.0	39.6	38.2
1993年	3	4.64E+09	2.29E+09	1.37E+09	3			
1994年	4	3.19E+09	1.57E+09	9.17E+08	4	54.8	51.9	49.9
1995年	5	5.75E+09	3.04E+09	1.86E+09	5	30.9	29.1	28.1
1996年	6	2.35E+09	1.16E+09	6.83E+08	6	56.5	52.3	49.5
1997年	7	1.55E+09	8.61E+08	5.63E+08	7	61.3	56.7	53.6
1998年	8	2.03E+09	1.09E+09	6.82E+08	8	59.2	54.8	52.1
1999年	9	3.07E+09	1.57E+09	8.88E+08	9	53.6	50.3	48.2
2001年	11	1.90E+09	9.59E+08	5.58E+08	11	64.2	58.9	55.7
2003年	13	4.25E+09	1.89E+09	1.14E+09	13	33.2	31.0	28.1
2005年	15	1.63E+09	9.04E+08	5.71E+08	15	63.7	58.3	55.3
2008年	18	5.55E+08	3.54E+08	2.81E+08	18	98.8	85.8	79
2011年	21	7.23E+08	3.52E+08	2.02E+08	21	115	98.7	89.4
2013年	23	7.37E+08	3.59E+08	2.18E+08	23	112	105	83

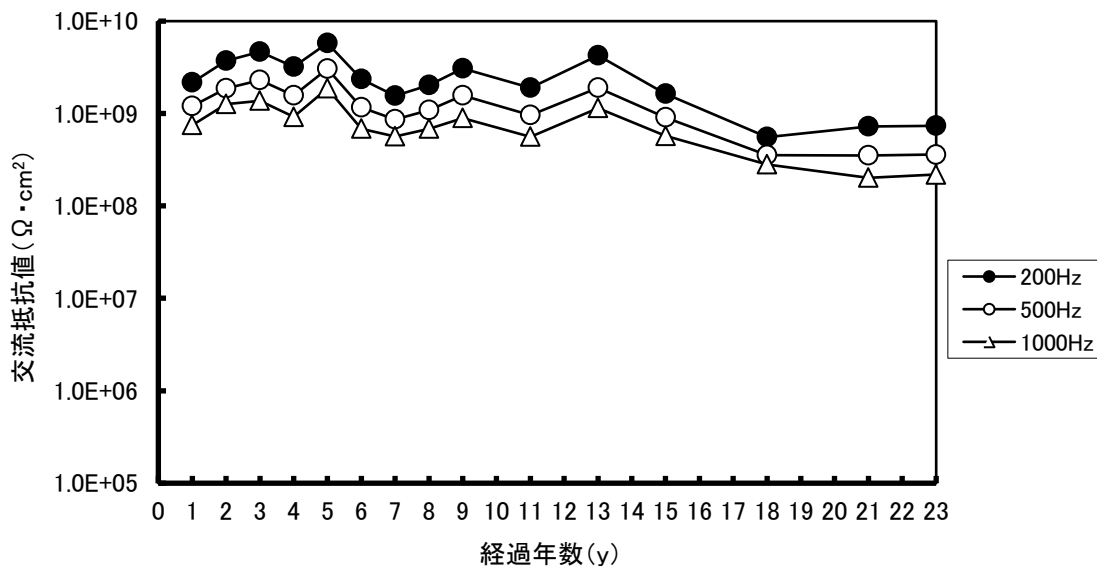


図-3.2.11.3 試験材C-6の交流抵抗値の経時変化

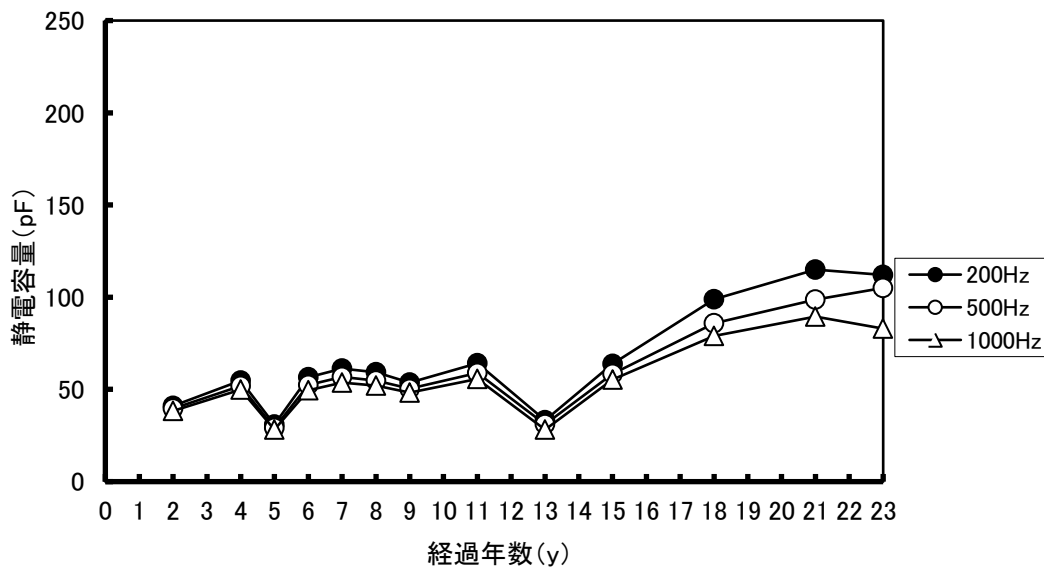


図-3.2.11.4 試験材C-6の静電容量の経時変化

試験体上端部

試験体下端部



① 塗膜補修部(異状なし)



② 海生物(フジツボ類)の付着跡(一部塗膜に海生物の食い込みは認められる)



防食系:ポリウレタン樹脂塗料
防食仕様:ポリウレタン系プライマー(30 μ m)
 黒色ポリウレタン(黒 2500 μ m)

写真-3.2.11.2 試験材C-6(東面)海生物除去後の外観状況

試験体上端部

試験体下端部



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②海生生物(フジツボ類)の付着跡(一部塗膜に海生生物の食い込みが認められる)



防食系: ポリウレタン樹脂塗料
防食仕様: ポリウレタン系プライマー(30 μ m)
黒色ポリウレタン(黒 2500 μ m)

写真-3.2.11.3 試験材C-6(西面)海生生物除去後の外観状況

3.2.11.3 詳細調査

(1) 塗装部付着力測定

試験材の塗装部付着力測定結果を表-3.2.11.3に示す。

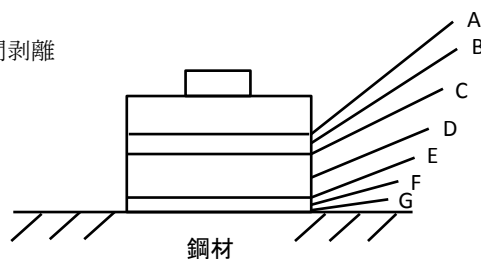
全体的に高い付着強度を示しており、破断形態も接着剤または供試材凝集であった。

表-3.2.11.3 試験材C-6塗装部付着力測定結果

測定位置		付着強度 MPa	破断形態	試験面写真
飛沫帯	① 西 T.P.+1.4m	3.6	A: 100%	
	② 西 T.P.+1.4m	4.8	A: 100%	
	③ 西 T.P.+1.4m	4.3	A: 100%	
干満帯	④ 西 T.P.+0.3m	4.2	A: 100%	
	⑤ 西 T.P.+0.3m	5.6	A: 100%	
	⑥ 西 T.P.+0.3m	5.7	A: 100%	
海中部	⑦ 西 T.P.-0.7m	4.3	A: 100%	
	⑧ 西 T.P.-0.70m	4.5	A: 100%	
	⑨ 西 T.P.-0.70m	5.6	A: 95% D: 5%	

試験面破壊形態

- A: 付着強度測定用ドーリー-接着剤間の層間剥離
- B: 接着剤の凝集破壊
- C: 接着剤-供試材間の層間剥離
- D: 供試材の凝集破壊
- E: 供試材-プライマー間の層間剥離
- F: プライマーの凝集破壊
- G: プライマー-鋼材間での層間剥離



3.3 新規暴露試験材の試験結果

2003年より暴露開始された新規暴露試験材（20本の内、N-20については2008年に暴露試験終了）の試験材ごとにまとめた調査結果は次のとおりである。

3.3.1 試験材 N-1

3.3.1.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.1.1、外観スケッチを図-3.3.1.1に示す。

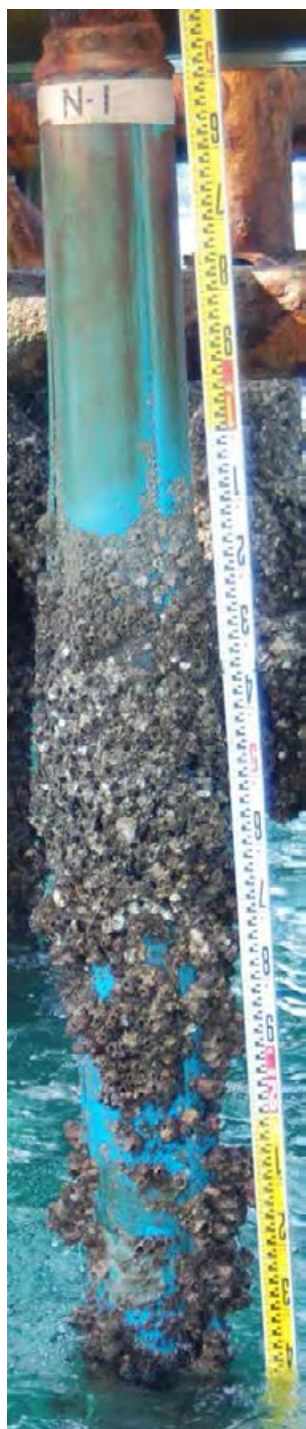
本試験材は、2003年度に鋼管を裸暴露し、2004年度に現地補修（防食被覆）を実施したものである。

試験材上端固定部からのもらい錆による変色（茶褐色）が見られ、また、T.P.+600～T.P.+1300にかけてFRP製当て板に膨れが認められたが、FRP製保護カバー材本体に損傷（クラックや脱落等）はなく健全な状態であった。海生生物の付着は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着しており、部分的に脱落している箇所も見受けられた。

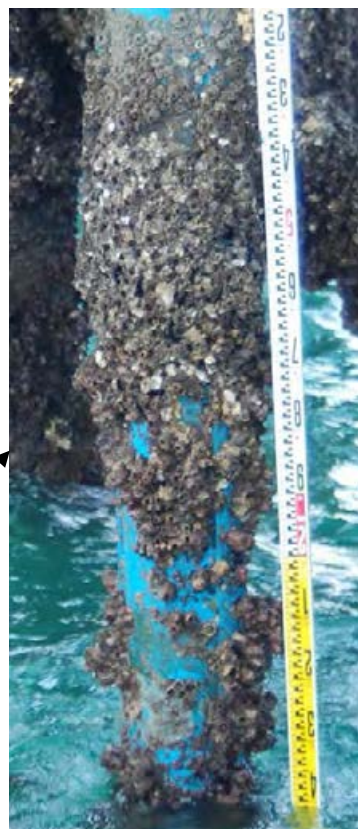
(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.1.2および写真-3.3.1.3、外観スケッチを図-3.3.1.2に示す。

FRP製保護カバー上下端部に施工された水中硬化形エポキシ樹脂に一部割れおよび脱落が見られた。FRP製当て板の剥離箇所は、ウレタン系防食樹脂がFRP製当て板から剥離した状態であったが、FRP製保護カバー側には付着しており、固定金具であるステンレス製リベットを腐食因子から保護する機能は維持していることが認められた。また、剥離箇所には海生生物が侵入・成長し、2008年度年調査時よりも剥離が進展していることも認められた。



施設側（南側）



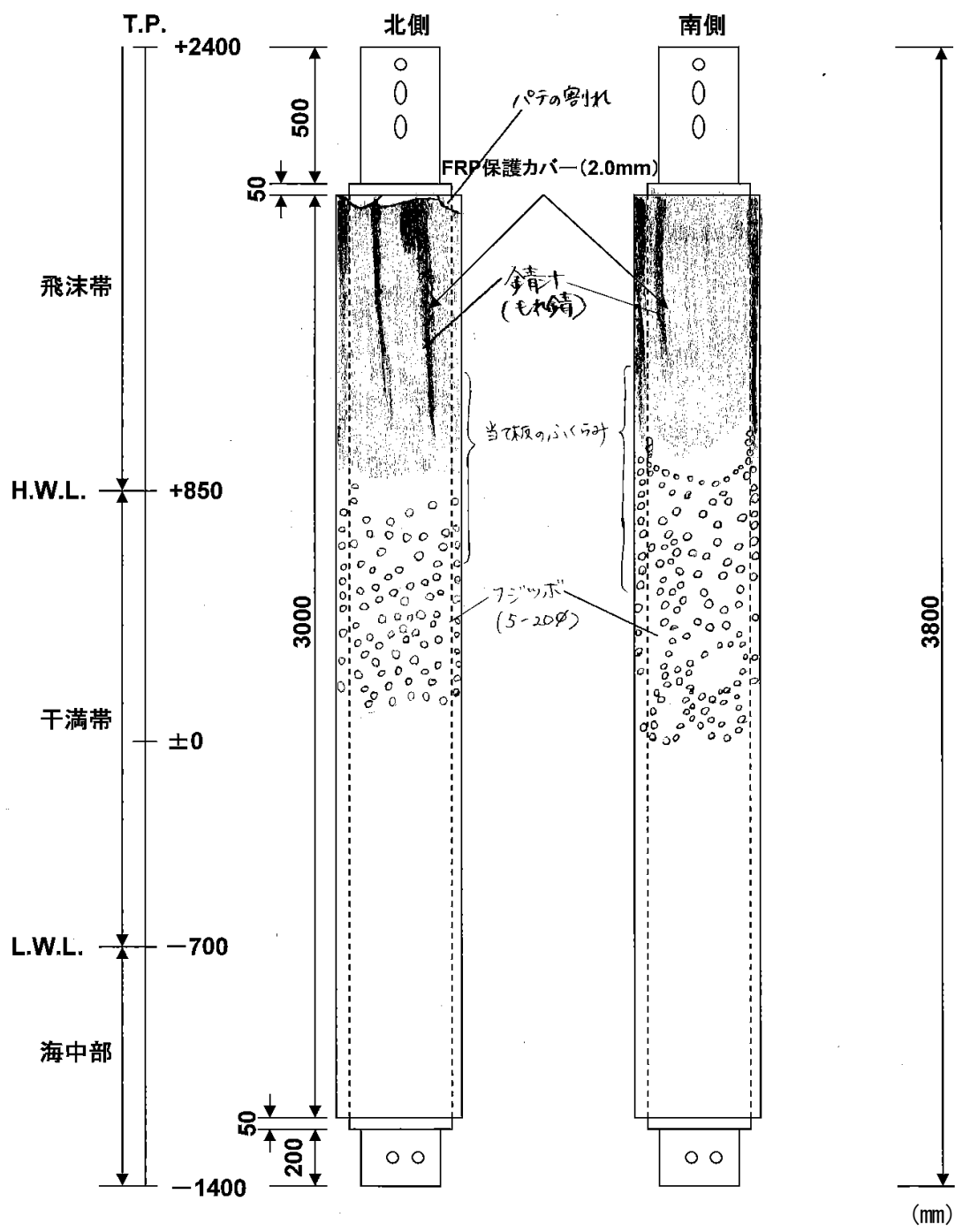
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系：FRP 製保護カバー＋特殊防食樹脂 a

防食仕様：FRP 製保護カバー（2mm）＋ウレタン系特殊防食樹脂（5mm）

写真-3.3.1.1 試験材 N-1 海生生物除去前の外観状況写真



防食系 : FRP 製保護カバー + 特殊防食樹脂 a

防食仕様 : FRP 製保護カバー (2mm) + ウレタン系特殊防食樹脂 (5mm)

図-3.3.1.1 試験材 N-1 海生物除去前の外観図

試験材下端部

②



試験材上端部

①



①水中硬化形エポキシ樹脂の割れ



②FRP製当て板の浮き（海生物の侵入が認められる）



新規試験材

防食系：保護カバークラス

防食仕様：FRP製保護カバークラス＋特殊防食樹脂 a

写真3.3.1.2 試験材N-1（南面）海生物除去後の外観状況

試験材下端部

試験材上端部



①水中硬化形エポキシ樹脂の割れ



②FRP製当て板の浮き（海生生物の侵入が認められる）

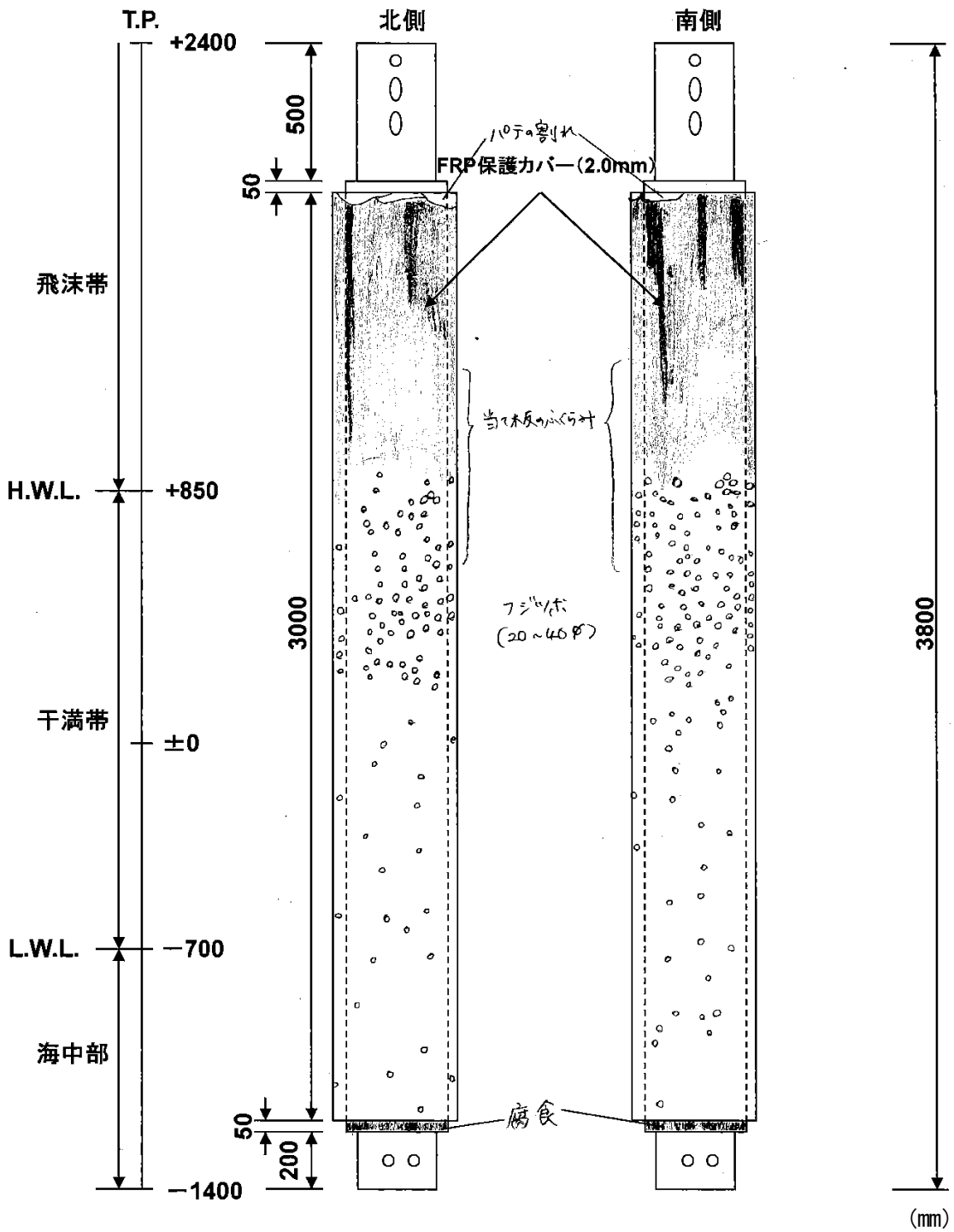


新規試験材

防食系：保護カバ一系

防食仕様：FRP製保護カバ一十特殊防食樹脂 a

写真3.3.1.3 試験材N-1（北面）海生生物除去後の外觀状況



防食系：FRP製保護カバー＋特殊防食樹脂 a

防食仕様：FRP製保護カバー（2mm）＋ウレタン系特殊防食樹脂（5mm）

図-3.3.1.2 試験材 N-1 海生生物除去後の外観図

3.3.1.2 詳細調査

(1) 試験材仕様

保護層：FRP 製カバー（厚さ：2mm）

防食層：ウレタン系防食樹脂（厚さ：5mm）

(2) 初期データ

① 試験鋼管組成

表-3.3.1.1 試験鋼管組成（STK400）

元素	C	P	S
質量（%）	0.25 以下	0.04 以下	0.04 以下

JIS G3444「一般構造用炭素鋼管（1994）」より

② 鋼管肉厚（被覆防食施工前）

表-3.3.1.2 試験鋼管の肉厚

単位：mm

測定時期	試験材No.	測定点					
		海側（南面）			施設内側（北面）		
		+1700	+350	-1000	+1700	+350	-1000
2003.6 （暴露前）	N-1	6.44	6.46	6.50	6.49	6.50	6.48
2004.8 （暴露1年）	N-1	6.09	6.32	6.37	6.10	6.17	6.39

注1：超音波厚さ計により同ポイントを5回測定し、その平均値を同部位の現有肉厚とした。

注2：試験鋼管を約1年暴露した後、同測定部位で超音波厚さ測定を行ない、その後に被覆防食を施工・暴露開始する。

③ FRP 製保護カバーの機械的強度

表-3.3.1.3 FRP 製保護カバーの機械的強度規格値（独自規格）

試験項目	規格値	参考試験法
引張り強さ	78MPa 以上	JIS K7164
曲げ強さ	98MPa 以上	JIS K7017

JIS K7164：プラスチック—引張特性の試験方法—第4部：等方性および直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件

JIS K7017：繊維強化プラスチック—曲げ特性の求め方

(3) 試験項目

- ①防食樹脂の目視観察
- ②試験鋼管の現有肉厚測定
- ③FRP 製保護カバーの機械的強度測定

(4) 試験方法

①防食樹脂の目視観察

施設内側面（南面）の FRP 製保護カバーの一部を飛沫帯～海水中部にかけてエアースランダーを用いて切削・取り外し、内部の防食層（不織布+防食樹脂）の状態を目視にて観察した。

②試験鋼管の現有肉厚測定

防食樹脂撤去後、測定面（3 深度）をエアースランダーにて研磨・平滑化し、超音波厚さ計を用いて現有肉厚測定を行なった。

なお、1 測定面において 5 点測定点を設け、その 5 測点の総平均を測定面の現有肉厚とした。

使用機器：超音波厚さ計 UDM-750DL（株式会社帝通電子研究所製）

③FRP 製保護カバーの機械的強度測定

撤去した FRP 製保護カバーを用いて、3 深度（T.P.+1600，T.P.+350，T.P.-750）から図-3.3.1.3 に示す引張り強さ試験片および曲げ強さ試験片を各 5 枚ずつサンプリングし、材料試験機にて表-3.3.1.4 に示す試験条件にて強度試験を行なった。

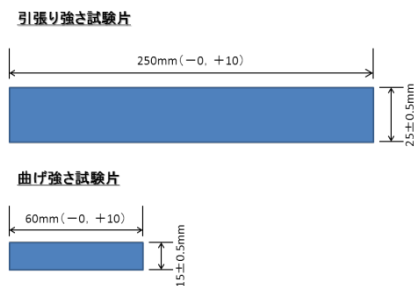


図-3.3.1.3 機械的強度試験片の形状

表-3.3.1.4 機械的強度試験条件

試験項目	試験条件	参考試験法
引張り強さ	試験速度：1mm/min	JIS K7164
曲げ強さ	試験速度：1mm/min（3点曲げ法）	JIS K7017

使用機器：島津オートグラフ AG-20kN ISD

(5) 結果

①防食樹脂の目視観察

写真-3.3.1.4 に不織布およびウレタン系防食樹脂の外観状況を示す。不織布およびウレタン系防食樹脂の外観を観察すると、飛沫帯下部から海中部にかけて全体的に黒色を呈していることが認められた。また、この防食層から硫化物系のものと思われる臭気が発せられており、何らかの硫化物が生成していると推測された。

ウレタン系防食樹脂は、写真-3.3.1.5 に示すように、鋼管素地面に対し十分な付着力と柔軟性を保持しており、密着性は良好で、鋼材素地面への水分や腐食因子の侵入も認められず、健全な状態であることが確認された。また、防食樹脂を担持する不織布についても加水分解などの変状は認められず、健全な状態であることが確認された。

②試験鋼管の現有肉厚測定

試験材 N-1 の試験鋼管の現有肉厚測定結果を表-3.3.1.5 に示す。

表-3.3.1.5 試験鋼管の現有肉厚値

単位：mm

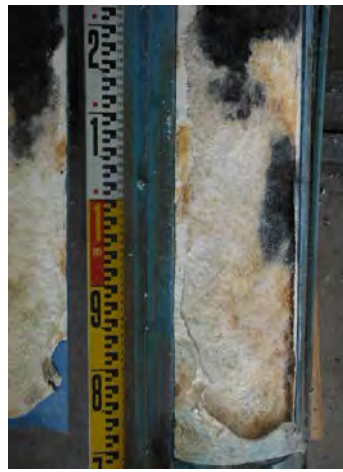
測定時期	試験材	測定点									
		海側（南面）					施設内側（北面）				
		+1700	+1600	+350	-750	-1000	+1700	+1600	+350	-750	-1000
2003.6	N-1	6.44	—	6.46	—	6.50	6.49	—	6.50	—	6.48
2004.8		6.09	—	6.32	—	6.37	6.10	—	6.17	—	6.39
2013.9		—	6.22	6.27	6.40	—	—	—	—	—	—

※2013年測定時における測定深度が2003年および2004年と異なるのは、FRP製保護カバーの復旧に影響を及ぼさない範囲で部分開放（T.P.+1650～T.P.-950）したためである。

試験材を部分開放し、試験鋼管の現有肉厚測定を行った結果、被覆材設置前に測定した測定箇所とは若干異なる測定点の現有肉厚値ではあるが、2004年測定時の現有肉厚値とほぼ同等であり、暴露期間中（9年間）の腐食による肉厚減少は認められず、良好な防食状態を維持していたことが確認された。



N-1 (FRP製保護カバー開放後外觀状況)



不織布およびウレタン系防食樹脂の外観状況 (部位①)



不織布およびウレタン系防食樹脂の外観状況 (部位②)



写真3.3.1.4 開放後の不織布およびウレタン系防食樹脂の外観状況



N-1 (ウレタン系防食樹脂除去後の鋼管素地面状況)



ウレタン系防食樹脂の鋼管素地面への付着状況 (部位①)



ウレタン系防食樹脂除去後の鋼管素地面状況 (部位①)



ウレタン系防食樹脂除去後の鋼管素地面状況 (部位②)

写真3.3.1.5 開放後のウレタン系防食樹脂の付着状況および鋼管素地面の外観状況

③FRP 製保護カバーの機械的強度測定

試験材 N-1 の FRP 製保護カバーの機械的強度測定結果を表-3.3.1.6 に示す。

表-3.3.1.6 試験材 N-1 の FRP 製保護カバーの機械的強度値

試験材No.	測定深度 (mm)	引張り強さ (MPa)	曲げ強さ (MPa)	曲げ弾性率 (MPa)
N-1	T. P. +1600	106	177	7370
	T. P. +350	76	145	6591
	T. P. -750	81	137	6400

※初期強度（独自規格値）

引張強さ： $\geq 78\text{MPa}$ 曲げ強さ： $\geq 98\text{MPa}$ 曲げ弾性率： $\geq 4410\text{MPa}$

本試験材に適用されている FRP 製保護カバーは、ハンドレイアップ法により作製されたものであるため、マトリックスである不飽和ポリエステル樹脂と強化繊維であるガラス繊維の分布が部位により若干異なる（ばらつきが生ずる）ことが原因で、部位により機械的強度値に差が見られることがある。

表-3.3.1.6 に示す結果を見ると、初期強度規格値を僅かに下回るかもしくはそれ以上であったが、本カバー材の初期強度のばらつきを考慮しても明らかに飛沫帯に比べ干満帯から海水中に位置する部材に引張強さおよび曲げ強さの低下傾向が見られた。FRP の機械的強度の低下に影響を与える因子には様々なものがあるが、干満帯から海水中にかけて劣化が進展していることを考慮すると、FRP 中への海水の浸透による吸水劣化や干満差による乾湿繰り返し作用による劣化が生じているものと考えられた。

3.3.1.3 まとめ

- ①ウレタン系防食樹脂は、施工当初白色の色調を呈していたが、経年変化により黒色に変色していたことが認められた。しかし、粘着性は維持されており、鋼管素地面と十分に密着し、腐食生成物の形成も認められず、良好な防食状態を維持していることが確認された。
- ②鋼管の現有肉厚測定の結果、減肉は認められず、経年劣化による腐食は生じていないことが確認された。
- ③FRP 製保護カバーの機械的強度は、干満帯から海中中部にかけて経年劣化による強度低下が認められたが、規格値を大きく下回ることではなく、軽微な劣化であることが確認された。

以上の結果から、暴露 9 年経過時点でも N-1 試験材の防食効果は維持されており、現地被覆工法として優れた耐久性を有することが示された。

3.3.2 試験材 N-2

3.3.2.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.2.1、外観スケッチを図-3.3.2.1に示す。

本試験材は、2003年度に鋼管を裸暴露し、2004年度に現地補修（防食被覆）を実施したものである。

試験材上端固定部からのもらい錆による変色（茶褐色）が見られ、また、南側の飛沫帯のFRP製保護カバー表面に極浅い傷が認められた。台風時などによる漂流物の衝突跡と考えられる。その他の箇所にも損傷（クラックや脱落等）はなく健全な状態であった。海生生物の付着は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着しており、部分的に脱落している箇所も認められた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.2.2および写真-3.3.2.3、外観スケッチを図-3.3.2.2に示す。

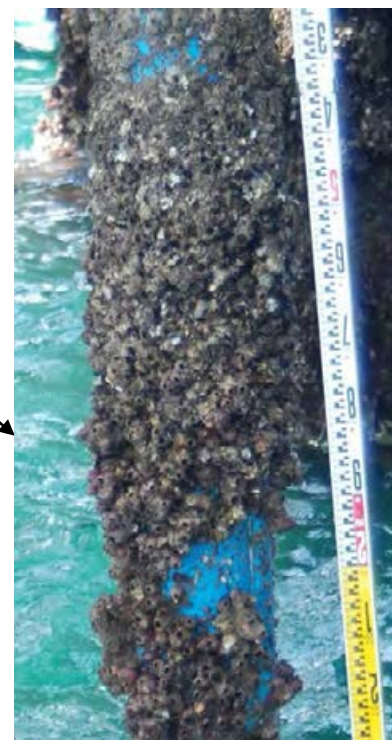
FRP製保護カバー上下端部に施工された水中硬化形エポキシ樹脂に一部割れおよび脱落が見られた。FRP製当て板の剥離箇所（T.P.+1300～T.P.+800）は、シリコン系防食樹脂がFRP製当て板から剥離した状態であったが、FRP製保護カバー側には付着しており、固定金具であるステンレス製リベットを腐食因子から保護する機能は維持していることが認められた。また、剥離箇所には海生生物が侵入・成長し、2008年調査時よりも剥離が進展していることも認められた。



施設側（南側）



飛沫帯のFRP製保護カバー傷



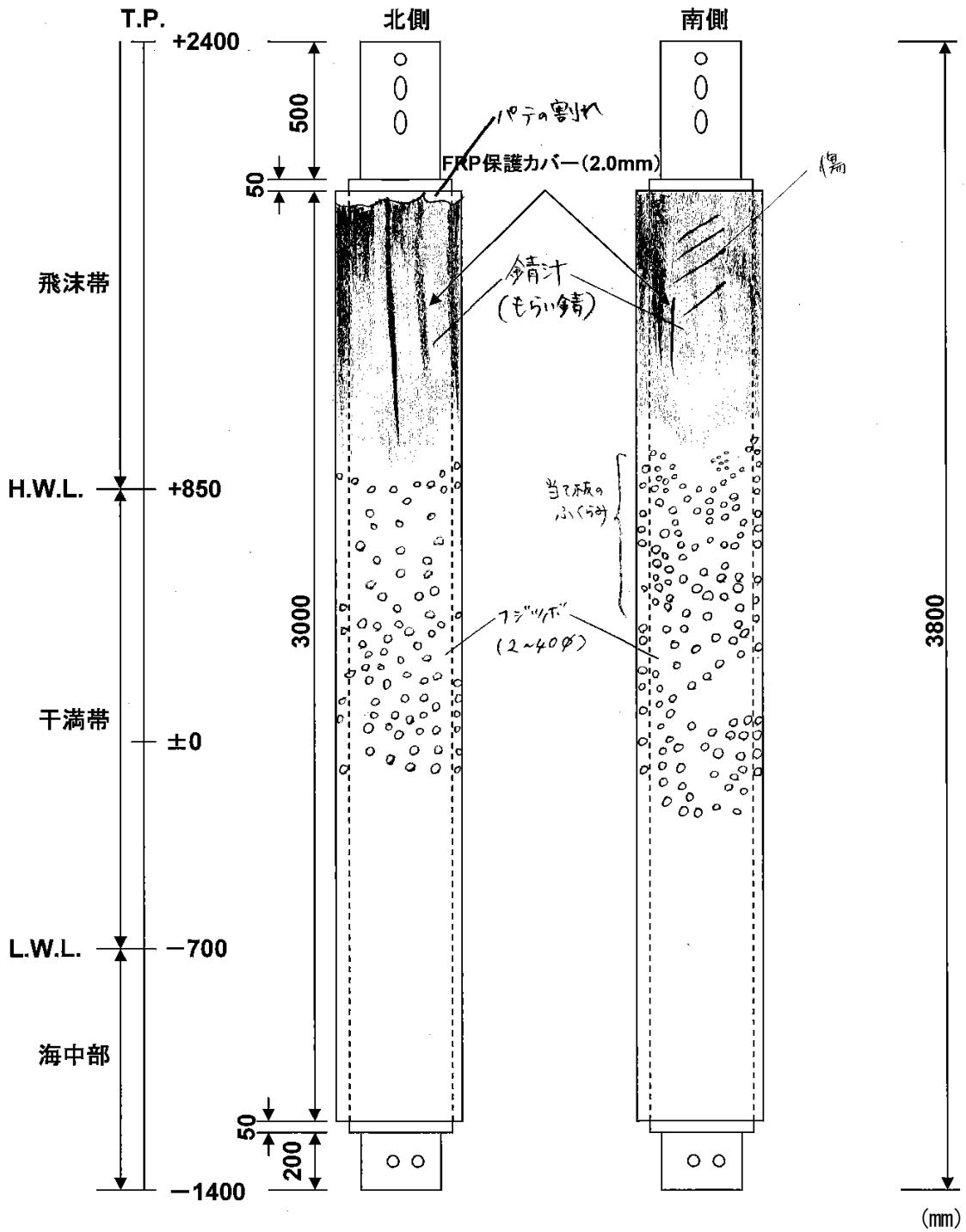
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系：FRP製保護カバー＋特殊防食樹脂b

防食仕様：FRP製保護カバー（2mm）＋シリコン系特殊防食樹脂（5mm）

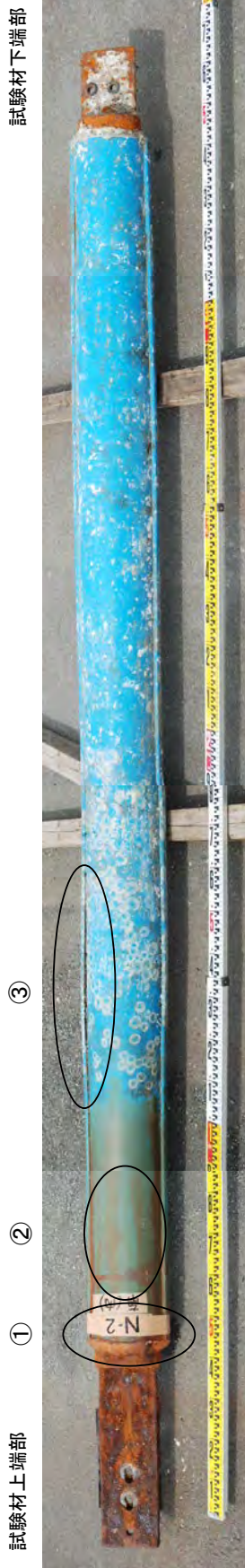
写真-3.3.2.1 試験材 N-2 海生生物除去前の外観状況写真



防食系：FRP 製保護カバー＋特殊防食樹脂 b

防食仕様：FRP 製保護カバー（2mm）＋シリコン系特殊防食樹脂（5mm）

図-3.3.2.1 試験材 N-2 海生物除去前の外観図



試験材下端部

試験材上端部

①

②

③

①水中硬化形エポキシ樹脂の割れ



②漂流物の衝突によるあて傷あり

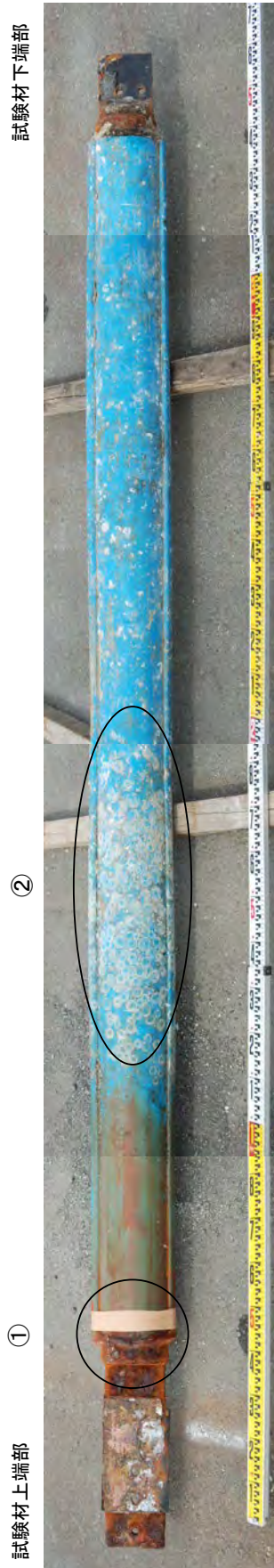


③FRP当て板の浮き（約40cm、海生物の侵入が認められる）



新規試験材
 防食系：保護カバース
 防食仕様：FRP保護カバース＋特殊防食樹脂b

写真3.3.2.2 試験材N-2（南面）海生物除去後の外観状況



①水中硬化形エポキシ樹脂の割れ

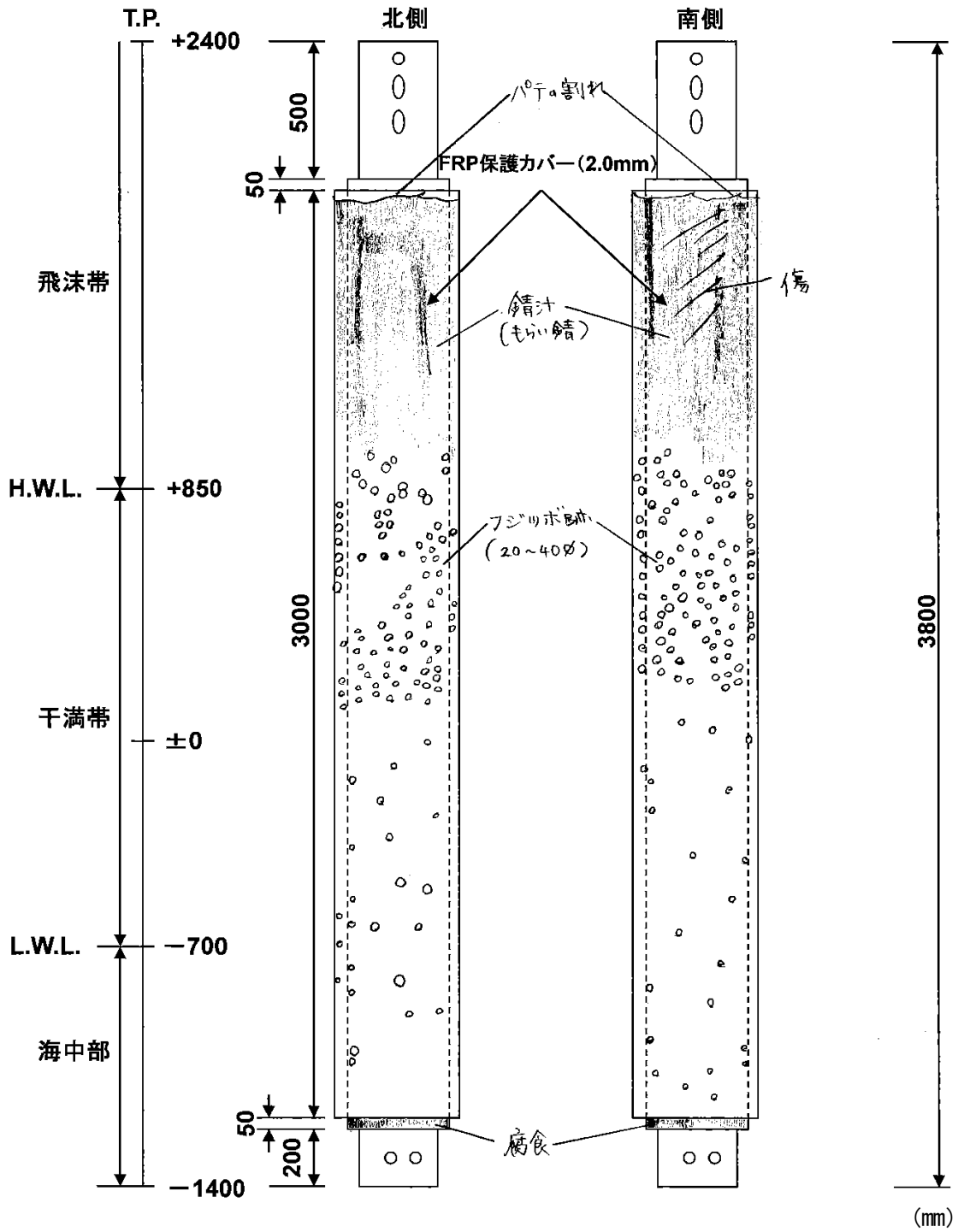


②海生物（フジツボ類）の付着跡（FRP保護カバ―に異状は認められない）



新規試験材
 防食系：保護カバ―系
 防食仕様：FRP保護カバ―十特殊防食樹脂b

写真3.3.2.3 試験材N-2（北面）海生物除去後の外観状



防食系 : FRP 製保護カバー + 特殊防食樹脂 b

防食仕様 : FRP 製保護カバー (2mm) + シリコン系特殊防食樹脂 (5mm)

図-3.3.2.2 試験材 N-2 海生物除去後の外観図

3.3.2.2 詳細調査

(1) 試験材仕様

保護層：FRP 製カバー（厚さ：2mm）

防食層：シリコン系防食樹脂（厚さ：5mm）

(2) 初期データ

① 試験鋼管組成

表-3.3.2.1 試験鋼管組成（STK400）

元素	C	P	S
質量（%）	0.25 以下	0.04 以下	0.04 以下

JIS G3444「一般構造用炭素鋼管（1994）」より

② 鋼管肉厚（被覆防食施工前）

表-3.3.2.2 試験鋼管の肉厚

測定時期	試験材No.	測定点					
		海側（南面）			施設内側（北面）		
		+1700	+350	-1000	+1700	+350	-1000
N-2	6.50	6.50	6.50	6.48	6.50	6.50	
N-2	6.10	6.39	6.20	6.10	6.43	6.25	

注1：超音波厚さ計により同ポイントを5回測定し、その平均値を同部位の現有肉厚とした。

注2：試験鋼管を約1年暴露した後、同測定部位で超音波厚さ測定を行ない、その後に被覆防食を施工・開始する。

③ FRP 製保護カバーの機械的強度

表-3.3.2.3 FRP 製保護カバーの機械的強度規格値（独自規格）

試験項目	規格値	参考試験法
引張り強さ	78MPa 以上	JIS K7164
曲げ強さ	98MPa 以上	JIS K7017

JIS K7164：プラスチック引張特性の試験方法—第4部：等方性および直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件

JIS K7017：繊維強化プラスチック曲げ特性の求め方

(3) 試験項目

① 防食樹脂の目視観察

② 試験鋼管の現有肉厚測定

③ FRP 製保護カバーの機械的強度測定

(4) 試験方法

①防食樹脂の目視観察

施設内側面（南面）のFRP製保護カバーの一部を飛沫帯～海水中部にかけてエアースランダーを用いて切削・取り外し、内部の防食層（不織布＋防食樹脂）の状態を目視にて観察した。

②試験鋼管の現有肉厚測定

防食樹脂撤去後、測定面（3 深度）をエアースランダーにて研磨・平滑化し、超音波厚さ計で現有肉厚測定を行なった。

なお、1 測定面において5 点測定点を設け、その5 測点の総平均を測定面の現有肉厚とした。

使用機器：超音波厚さ計 UDM-750DL（株式会社帝通電子研究所製）

③FRP製保護カバーの機械的強度測定

撤去したFRP製保護カバーを用いて、3 深度（T.P.+1600, T.P.+350, T.P.-750）から図-3.3.2.3 に示す引張り強さ試験片および曲げ強さ試験片を各 5 枚ずつサンプリングし、材料試験機にて表-3.3.2.4 に示す試験条件にて強度試験を行なった。

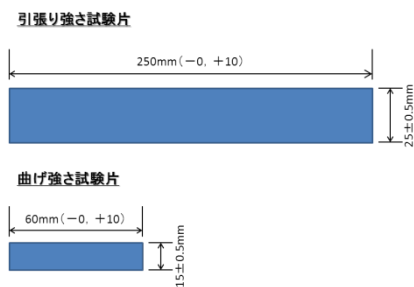


図-3.3.2.3 機械的強度試験片の形状

表-3.3.2.4 機械的強度試験条件

試験項目	試験条件	参考試験法
引張り強さ	試験速度：1mm/min	JIS K7164
曲げ強さ	試験速度：1mm/min（3点曲げ法）	JIS K7017

使用機器：島津オートグラフ AG-20kN ISD

(5) 結果

①防食樹脂の目視観察

写真-3.3.2.4 に不織布およびシリコン系防食樹脂の外観状況を示す。不織布およびシリコン系防食樹脂の外観を観察すると、試験材 N-1 と同様、飛沫帯下部から海中部にかけて全体的に黒色を呈していることが認められた。また、この防食層からも硫化物系のものと思われる臭気が発せられており、何らかの硫化物が生成していると推測された。

シリコン系防食樹脂は、写真-3.3.2.5 に示すように、鋼管素地面に対し十分な付着力と柔軟性を保持しており、密着性は良好であったが、一部鋼管素地面とシリコン系防食樹脂との界面に水分が滞留している状態が認められた。この滞留した水分は、現地での被覆防食施工時に巻き込まれたものが残留したものであると推察される。一方、シリコン系防食樹脂を担持する不織布に関しては、加水分解などの変状は認められず、健全な状態であることが確認された。

②試験鋼管の現有肉厚測定

試験材 N-2 の試験鋼管の現有肉厚測定結果を表-3.3.2.5 に示す。

表-3.3.2.5 試験鋼管の現有肉厚値

測定時期	試験材	測定点									
		海側 (南面)					施設内側 (北面)				
		+1700	+1600	+350	-750	-1000	+1700	+1600	+350	-750	-1000
2003.6	N-2	6.50	—	6.50	—	6.50	6.48	—	6.50	—	6.50
2004.8		6.10	—	6.39	—	6.20	6.10	—	6.43	—	6.25
2013.9		—	6.14	6.36	6.29	—	—	—	—	—	—

※2013年測定時における測定深度が2003年および2004年と異なるのは、FRP製保護カバーの復旧に影響を及ぼさない範囲で部分開放 (T.P. +1650~T.P. -950) したためである。

試験材を部分開放し、試験鋼管の現有肉厚測定を行った結果、被覆材設置前に測定した測定箇所とは若干異なる測定点の現有肉厚値ではあるが、2004年測定時の現有肉厚値とほぼ同等であり、暴露期間中 (9年間) の腐食による肉厚減少は認められず、良好な防食状態を維持していたことが確認された。



N-2 (FRP保護カバー開放前の外観状況)



N-2 (不織布およびシリコン系防食樹脂の外観状況)



不織布およびシリコン系防食樹脂の外観状況 (部位①)



鋼管素地面の外観状況 (部位②)



鋼管素地面の外観状況 (部位③)

写真3.3.2.4 開放後の不織布およびシリコン系防食樹脂の外観状況



N-2 (試験鋼管素地面の外観状況)



試験鋼管素地面の外観状況 (部位②：干満帯部)



試験鋼管素地面の外観状況 (部位①：飛沫帯部)

写真3.3.3.2.5 開放後の鋼管素地面の外観状況

③FRP 製保護カバーの機械的強度測定

試験材 N-2 の FRP 製保護カバーの機械的強度測定結果を表-3.3.2.6 に示す。

表-3.3.2.6 試験材 N-2 の FRP 製保護カバーの機械的強度値

試験材No.	測定深度 (mm)	引張り強さ (MPa)	曲げ強さ (MPa)	曲げ弾性率 (MPa)
N-2	T. P. +1600	95	187	7225
	T. P. +350	87	141	6662
	T. P. -750	85	150	7659

※初期強度（独自規格値）

引張強さ： $\geq 78\text{MPa}$ 曲げ強さ： $\geq 98\text{MPa}$ 曲げ弾性率： $\geq 4410\text{MPa}$

本試験材に適用されている FRP 製保護カバーは、ハンドレイアップ法により作製されたものであるため、マトリックスである不飽和ポリエステル樹脂と強化繊維であるガラス繊維の分布が部位により若干異なる（ばらつきが生ずる）ことが原因で、部位により機械的強度値に差が見られることがある。

表-3.3.2.6 に示す結果を見ると、全体的に初期強度規格値は上回っているが、本カバー材の初期強度のばらつきを考慮しても明らかに飛沫帯に比べ干満帯から海水中に位置する部材に引張強さおよび曲げ強さの低下傾向が見られた。FRP の機械的強度の低下に影響を与える因子には様々なものがあるが、干満帯から海水中にかけて劣化が進展していることを考慮すると、FRP 中への海水の浸透による吸水劣化や干満差による乾湿繰り返し作用による劣化が生じているものと考えられた。

3.3.2.3 まとめ

- ①シリコン系防食樹脂は、施工当初白色の色調を呈していたが、経年変化により黒色に変色していたことが認められた。樹脂自体の粘着性は維持されており、鋼管素地面と十分に密着していたが、一部鋼管素地面とシリコン系防食樹脂との界面に水分の滞留が確認された。
- ②鋼管の現有肉厚測定の結果、減肉は認められず、経年劣化による腐食は生じていないことが確認された。
- ③FRP 製保護カバーの機械的強度は、干満帯から海中中部にかけて経年劣化による強度低下が認められたが、規格値を大きく下回ることはなく、軽微な劣化であることが確認された。

以上の結果から、暴露 9 年経過時点でも N-2 試験材の防食効果は維持されており、現地被覆工法として優れた耐久性を有することが示された。

3.3.3 試験材 N-3 (新規暴露材)

3.3.3.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.3.1、外観スケッチを図-3.3.3.1に示す。

本試験材は、2003年度の暴露開始時に T.P. +1300 および T.P. +500 の位置にスクラッチ傷を各々2箇所付与し、暴露1年後の2004年度に各レベルごとに1箇所ずつ現地補修を実施したものである。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)と、飛沫帯のスクラッチ傷内部からの錆汁が見られた。また、スクラッチ傷も若干開いているように見えたが、スクラッチ傷の周囲や補修部および一般部には異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部(T.P. +1300付近)から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.3.2および写真-3.3.3.3、外観スケッチを図-3.3.3.2に示す。

海生生物除去後、T.P. +1300 および T.P. +500 の位置のスクラッチ傷の内部を観察したところ内部の鋼材に発錆が認められ、T.P. +1300 のスクラッチ傷部の PE 被覆にわずかな浮きが見られた。これは、PE 被覆下で傷部から鋼材の腐食が進展し、錆層が成長したことによるものと考えられた。被覆下端部のシーラントに関しては、ほぼすべて脱落していたが、PE 被覆の浮き等の損傷は生じておらず、健全な状態であった。その他、海生生物が付着していた部位の PE 被覆にも損傷は見られず、健全な状態であることが認められた。



施設側(西側)



人工傷状況(スクラッチ傷)



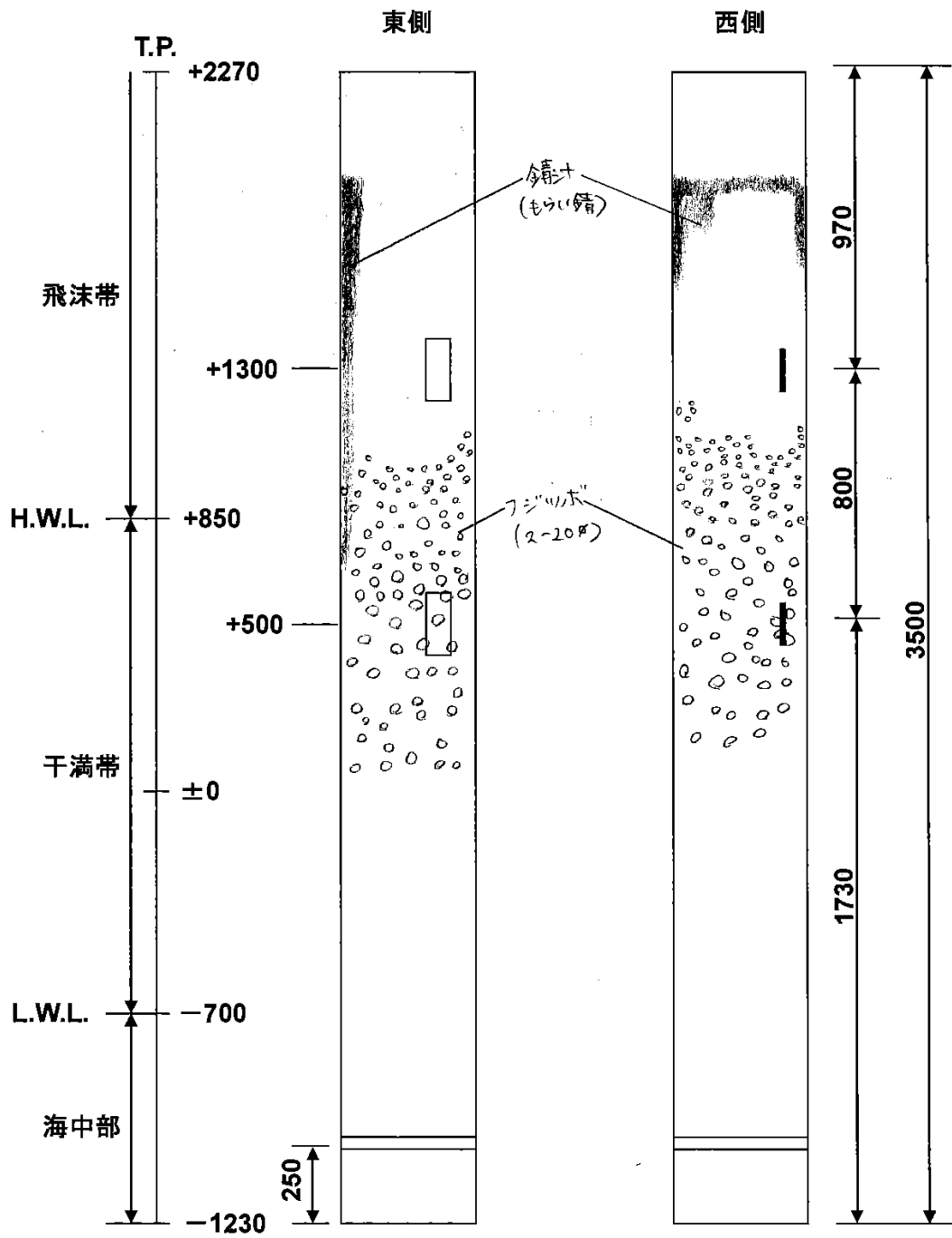
補修部状況(パッチ当て)

新規暴露試験材

防食系：ポリエチレン被覆

防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm)

写真-3.3.3.1 試験材N-3 海生生物除去前の外観状況写真

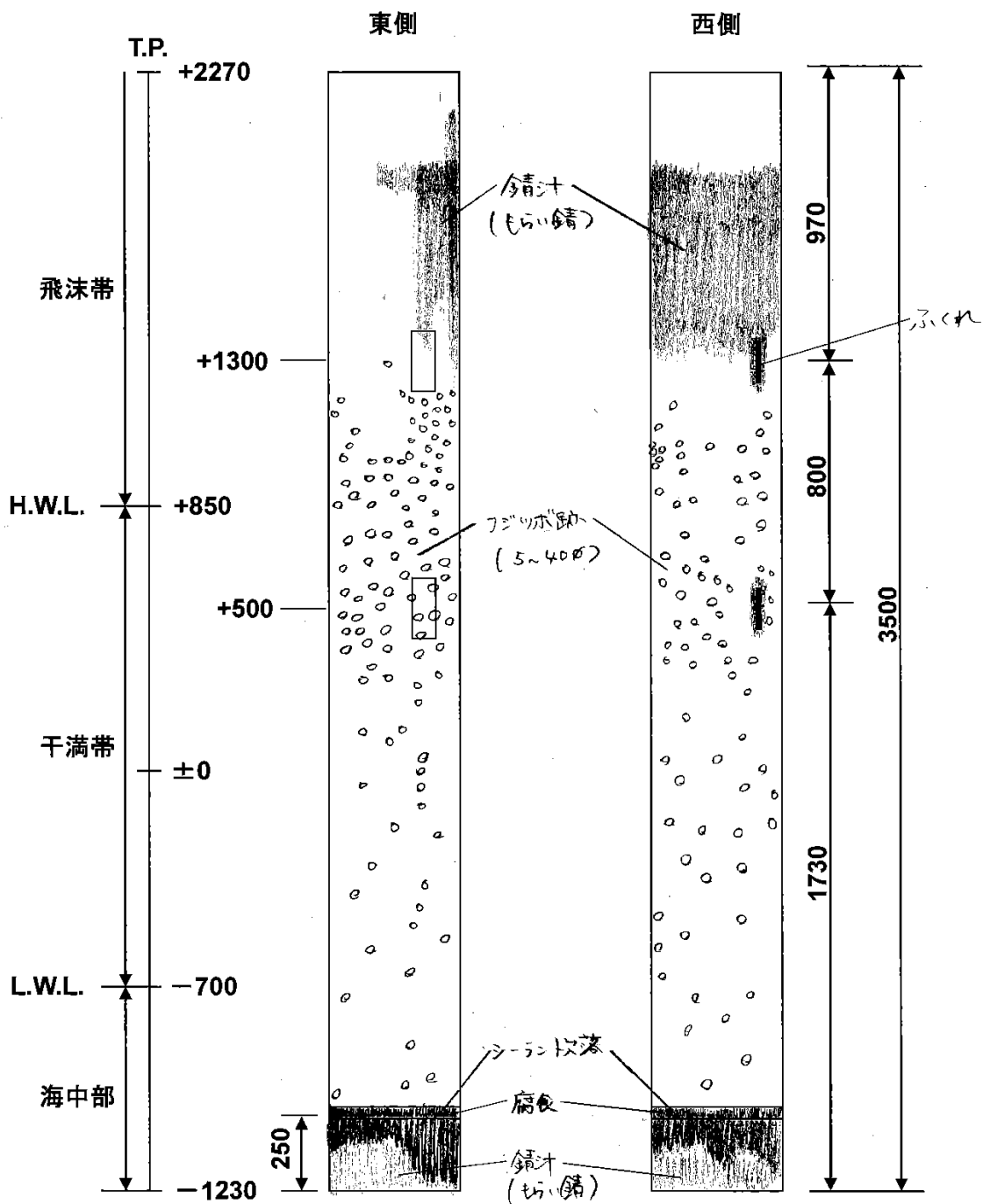


(mm)

防食系：ポリエチレン被覆

防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm)

図-3.3.3.1 試験材 N-3 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系：ポリエチレン被覆
 防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm)

図-3.3.3.2 試験材 N-3 海生生物除去後の外観図



写真-3.3.3.2 試験材 N-3 の生物除去後の外観観察結果(西側)



写真-3.3.3.3 試験材 N-3 の生物除去後の外観観察結果(東側)

3.3.3.2 詳細調査

3.3.3.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。また、被覆補修部(パッチ当て補修

部)や、人工欠陥部(線状傷)部も別途観察し、写真撮影を実施した。

(2) 接着強度(90度剥離強度)の測定

飛沫部(下端より2100mm)、干満上部(下端より1200mm)、干満下部(下端より900mm)、海中部(下端より300mm)の位置について、試験材の一部を強制的に剥離し、引張試験機により10mm/minの引張速度で剥離したときの反力から90度剥離強度を測定した。測定は室温(23~25℃)で実施した。またパッチ当て部についても、その接着強度を同様に測定した。

(3) 人工欠陥部、補修部および被覆端部の被覆層の状況

人工欠陥部の周囲および補修部の状況について、周囲の被覆層を一部剥離することでそのダメージ範囲・錆侵入距離を測定した。また傷部の板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターにて板厚を計測した。

(4) 被覆層の物性調査

飛沫部の4方向におけるポリエチレン被覆層を強制的に剥離し、JIS5号ハーフダンベルに打ち抜き後、室温にて5mm/minの引張速度にて、降伏強度、伸び、破断強度を測定した。

3.3.3.2 詳細調査結果

(1) 外観観察

写真-3.3.3.4~3.3.3.7に、各部(飛沫部~海中部)の外観を示す。



写真-3.3.3.4 N-3材の各部位における外観(西側)



写真-3. 3. 3. 5 N-3 材の各部位における外観(北側)



写真-3. 3. 3. 6 N-3 材の各部位における外観(南側)



写真-3.3.3.7 N-3 材の各部位における外観(東側)

外観上では、特に劣化している状況は認められないが、被覆下端部において下端部保護のためのタールエポキシ樹脂塗料の劣化が見られ、被覆層が脱落し腐食が観察される。



写真-3.3.3.8 N-3 飛沫部・干満部のパッチ当て補修部および人工線状欠陥部の外観

写真-3.3.3.8には、パッチ当て補修部、人工線状欠陥部の外観を示す。パッチ当て補修部には脱落・一部の剥離は認められない。良好な外観を示している。人工線状傷部分については、傷部の鋼に腐食が認められ、飛沫部の人工傷周辺に一部わずかな被覆層の浮きが観察された。

(2) 接着強度(90度剥離強度)の測定

表-3.3.3.1、3.3.3.2に各部の接着強度の測定結果を示す。

表-3.3.3.1 N-3材の各部位における接着強度の測定結果

部位	接着強度(90度剥離強度) (N/cm)	剥離部位
飛沫部	200以上	接着性PE/プライマー間+PE破断
干満部上部	200以上	接着性PE/プライマー間+PE破断
干満部下部	200以上	接着性PE/プライマー間+PE破断
海中部	200以上	接着性PE/プライマー間+PE破断

表-3.3.3.2 N-3材のパッチ当て補修部の接着強度

部位	溶着部接着強度 (N/cm)	剥離部位	パッチ部付着強度 (N/cm)	剥離部位
飛沫部	110	PE/溶着PE	15	PEシート/防食材
干満部	123	PE/溶着PE	18	PEシート/防食材

各部位の接着強度は200N/cm以上の値を示し、良好な接着強度を示した。接着強度測定した部位間では特に差は認められなかった。また補修部については、パッチ当て部の周囲をPE溶着法で接着した部位は、110～123N/cmと良好な値を示しており、補修部の有効性が示されている。人工欠陥部内に防食層を挿入した部分は、PEと防食層間に付着がないため低値を示すが、周囲の溶着部に十分な接着強度があるので問題ない。

(3) 人工欠陥部、被覆端部の被覆層の状況

表-3.3.3.3に、人工欠陥部および被覆層下端における最大剥離幅および平均剥離幅を示す。また表-3.3.3.4には、人工欠陥部およびその周囲の最大板厚減少量を示す。また人工線状欠陥部の被覆剥離後の外觀を写真-3.3.3.9に示す。

表-3.3.3.3 人工線状欠陥部および被覆層下端部の剥離距離

部位	最大剥離幅(片側) (mm)	平均剥離幅(片側) (mm)
飛沫部(線状傷)	23.5	16.5
干満部(線状傷)	9.5	8.2
海中部(被覆下端)	0.5	0.1

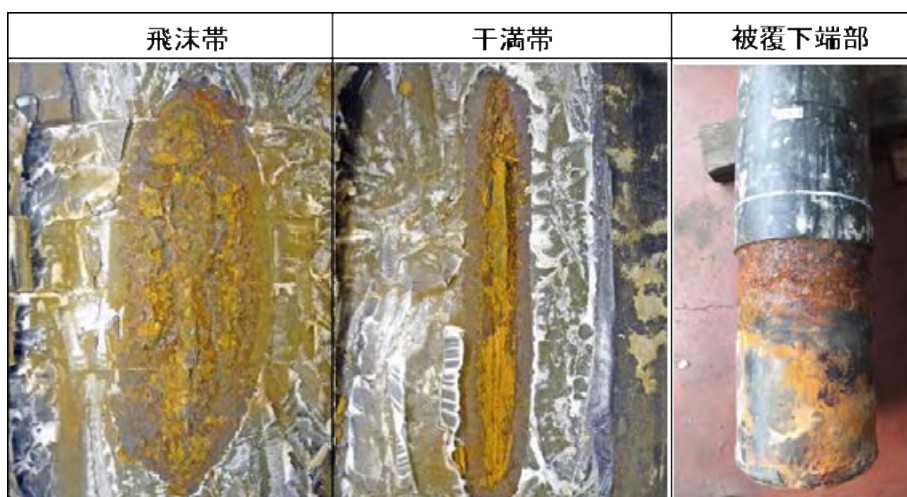


写真-3.3.3.9 人工欠陥部からの錆状況と下端部の状況

表-3.3.3.4 人工欠陥部周辺の最大・平均板厚減少量 (mm/10年)

部位	傷部	傷部+5mm	傷部+10mm	傷部+15mm
飛沫部(線状傷)	1.04 (0.53)	0.86 (0.44)	0.25 (0.12)	≒0
干満部(線状傷)	1.07 (0.81)	0.08 (0.045)	≒0	≒0

()内数値は平均値

線状傷周辺での剥離は、飛沫部で大きく干満部で小さい。片側に剥離が進行する速度は、平均で最大1.8mm/y程度であり非常に小さいことが判る。海中部は被覆層下端からの剥離距離となるが、殆ど無視できる長さであった。人工欠陥部の板厚減少量は、傷部では最大1~1.4mmであったが、傷部から離れるに従い腐食量は減少した。傷部は、初期の傷深さが不明瞭であるが、傷部からの5mm程度離れた場合には、最大腐食量は飛沫帯で0.86mm程度であり、その腐食速度は、0.09mm/y程度と考えられる。

(4) 被覆層の物性調査

表-3.3.3.5に測定した部位毎の被覆層のポリエチレンの機械的特性を示す。

表-3.3.3.5 N-3試験材の被覆層から採取したポリエチレンの機械的物性

部位	最大破断荷重 (N/cm ²)	伸び (%)
飛沫部	2028	345

(採取PE時に傷ができてしまい、傷から破断した。)

ポリエチレン被覆層を強制的に剥離したため、引張試験時の破断が傷より発生し、正確な測定が困難であった。今回の測定値は参考値である。

3.3.3.3 N-3 試験材調査まとめ

(1) 外観上においては、以下が認められた。

- ・人工線状欠陥部における錆の生成および飛沫帯における人工線状欠陥部周辺の軽微な浮き。
- ・試験材下端に位置する裸部保護用塗装(タールエポキシ樹脂塗料)の劣化 (腐食発生・一部剥離)
- ・パッチ当て補修部は健全。

(2) 被覆層の接着強度(90度剥離強度)

被覆層の接着強度は、飛沫・干満・海中部のいずれでは200N/cm以上の高い値を示し、良好であり、10年では各部位の差が殆ど認められない。

(3) 人工線状欠陥部、被覆層下端部からの状況

人工線状欠陥部の周囲には、飛沫部で15mm程度、干満部で8mm程度の剥離が観察された。10年間の進行を考えるとその剥離速度は、飛沫部で1.5mm/y程度、干満部で0.8mm/y程度である。また線状欠陥部周囲の板厚減少量も観察され、飛沫部で0.86mm/10年、干満部で0.1mm/10年程度であった。被覆層の傷部については、10年程度では上記の値程度に収まるが早期に補修することが望ましい。特に発見から10年以内には補修することが推奨される。

(4) 被覆層ポリエチレンの機械的物性

ポリエチレン層の機械的物性の調査を試みたが、強制的な剥離による試験材へのダメージから正確な測定は困難であった。今回の測定値は参考値とする。

3.3.4 試験材 N-4 (新規暴露材)

3.3.4.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.4.1、外観スケッチを図-3.3.4.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)のほか、東側 T.P. +1500 付近に漂流物によるものと思われる衝突痕のようなものが見られたが、鋼管素地に達しているようには見えなかった。その他には異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部 (T.P. +1300 付近) から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.4.2および写真-3.3.4.3、外観スケッチを図-3.3.4.2に示す。

PE 被覆下端部のシーラントの一部に脱落が見られたが、PE 被覆の浮き等の損傷は無く、健全な状態であることが認められた。また、海生生物が付着した部位の PE 被覆も異状は無く、健全な状態であった。PE 被覆の無い試験材下端部の鋼材も腐食は生じておらず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(3) 電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.4.1に示す。

今回 (2013 年)、深度方向に対して 500mm 毎に測定された電位は-1086~-1092mV vs. SCE であり、2011 年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.4.1 試験材 N-4 の電位 (mV vs. SCE)

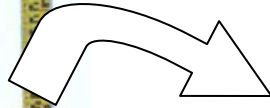
測定年度	測定位置					平均値
	T. P. +900	T. P. +400	T. P. -100	T. P. -600	T. P. -1100	
2005 年	—	-1085	-1085	-1085	-1087	-1085
2008 年	—	-1092	-1092	-1092	-1093	-1092
2011 年	-1083	-1083	-1083	-1084	-1084	-1083
2013 年	-1091	-1092	-1092	-1086	-1087	-1089

(4) アルミニウム合金陽極の消耗量

アルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表-3.3.4.2、写真-3.3.4.4に示す。



施設側(西側)



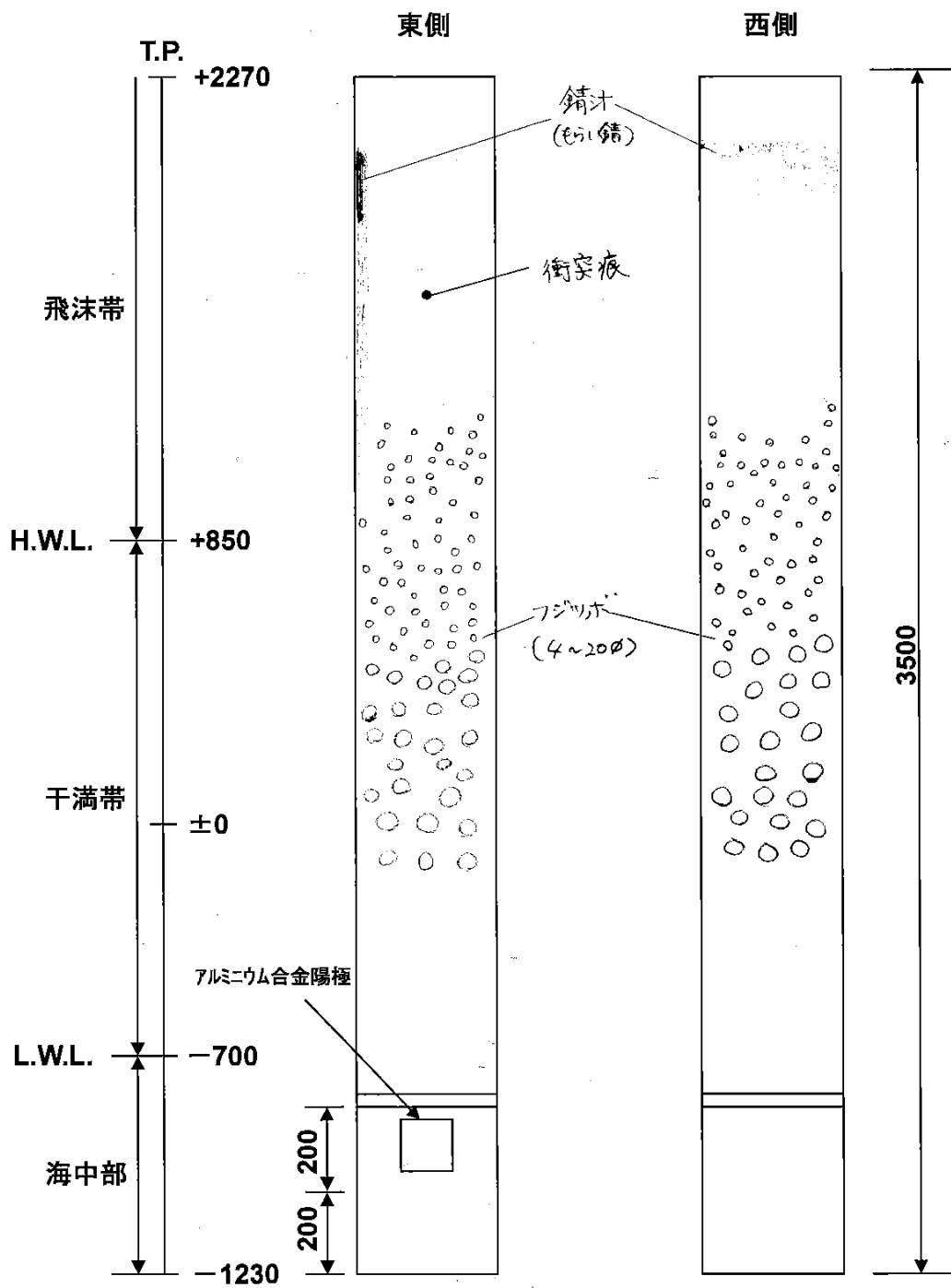
飛沫帯衝突痕

新規暴露試験材

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆（3.5mm）＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.4.1 試験材 N-4 海生生物除去前の外観状況写真

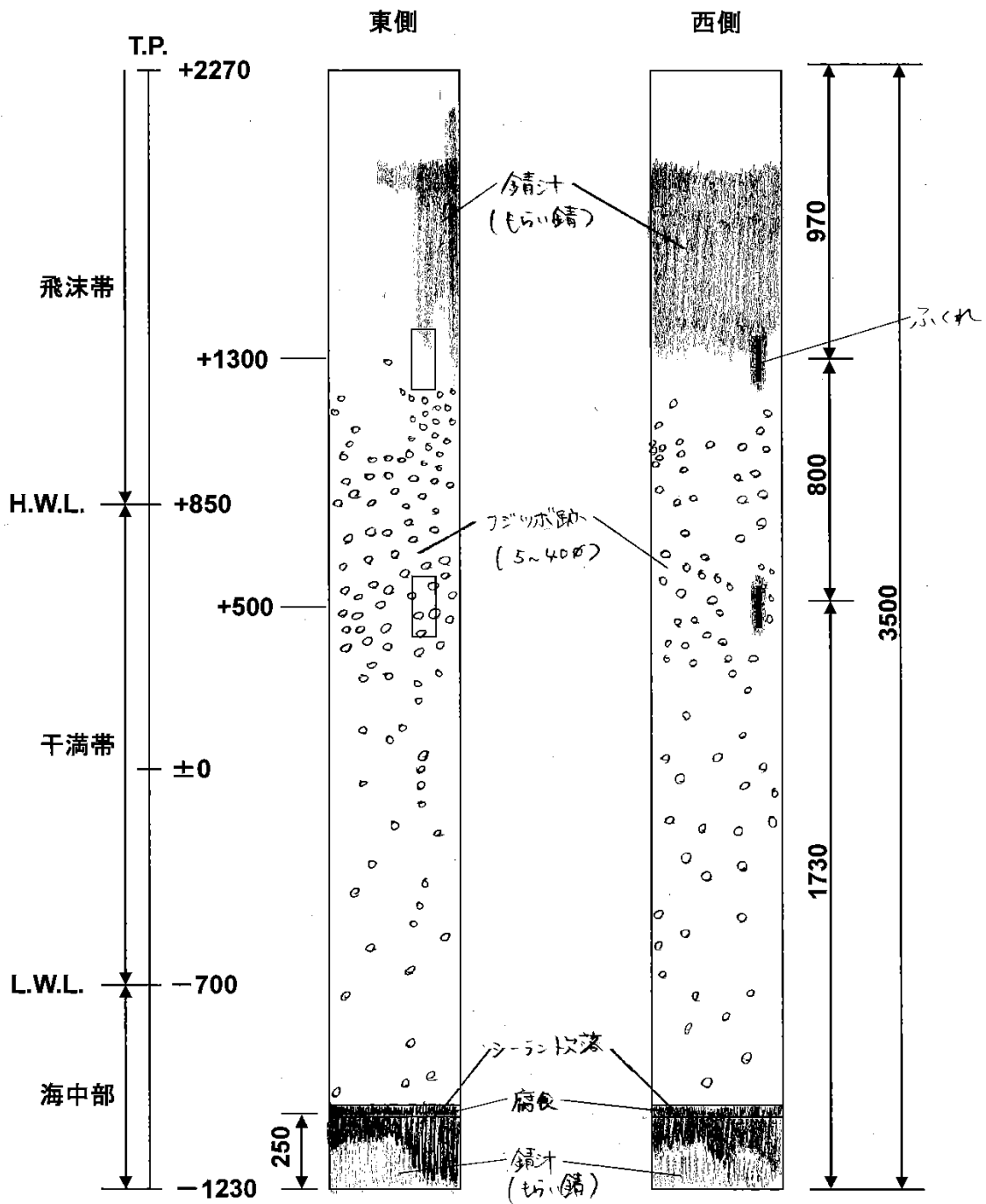


(mm)

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆（3.5mm）＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.4.1 試験材N-4 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm) ＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.4.2 試験材 N-4 海生生物除去後の外観図



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②被覆端部のシーリング材の損傷



③海生生物(フジツボ類)の付着跡(被覆材に異状は認められない)



新規試験材
防食系:PE被覆系
防食仕様:PE被覆鋼材(改良系1+アルミニウム合金陽極)

写真-3.3.4.2 試験材 N-4 (西面) 海生生物除去後の外観状況



①漂流物による衝突痕が認められる



②被覆端部のシーリング材に一部破損が認められる



③海生生物(フジツボ類)の付着跡(被覆材に異状は認められない)



新規試験材
防食系:PE被覆系
防食仕様:PE被覆鋼材(改良系1+アルミニウム合金陽極)

写真-3.3.4.3 試験材 N-4 (東面) 海生生物除去後の外観状況

表-3.3.4.2 試験材N-4 アルミニウム合金陽極質量・形状測定結果

		陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)			(kg/y)
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
測定年度	測定方向							
2013年	東	42	70	152	1.07	0.88	0.19	0.019

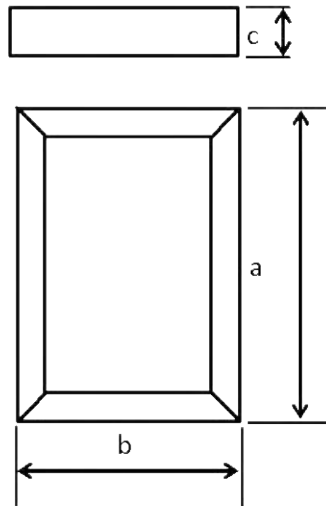


図 陽極寸法計測位置



写真-3.3.4.4 陽極外観状況 (試験材N-4)

3.3.4.2 詳細調査

3.3.4.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。

3.3.4.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察結果

各部外観の詳細写真を写真-3.3.4.5~3.3.4.8 に示す。海生生物の付着や、ポリエチレン表面における擦り傷などが位置部認められるが、被覆層は健全でありその劣化は認められなかった。また端部などにおいても被覆層の浮きなどは認められなかった。ただし陽極取り付け部に保護のため塗布したタールエポキシ樹脂塗料やシール材に剥離が認められた。



写真-3.3.4.5 N-4 材の各部位における外観（西側）



写真-3.3.4.6 N-4 材の各部位における外観（南側）



写真-3.3.4.7 N-4 材の各部位における外観 (北側)



写真-3.3.4.8 N-4 材の各部位における外観 (東側)

3.3.4.3 N-4 試験材調査まとめ

N-4 材については、飛沫部の一部に漂流物の衝突による軽微な傷や擦り傷などが一部において認められたが、被覆層に浮きなどの劣化は認められず健全な状態であると考えられる。ただし、陽極取り付け部の保護用タールエポキシ樹脂塗料やシール材に剥離が認められた。陽極は尚健全であり、防食電位も-1090mV vs SCE であり問題ないレベルであった。

N-4 材については尚健全性を維持しており防食被覆として問題ないと考えられる。

3.3.5 試験材 N-5

3.3.5.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.5.1、外観スケッチを図-3.3.5.1に示す。

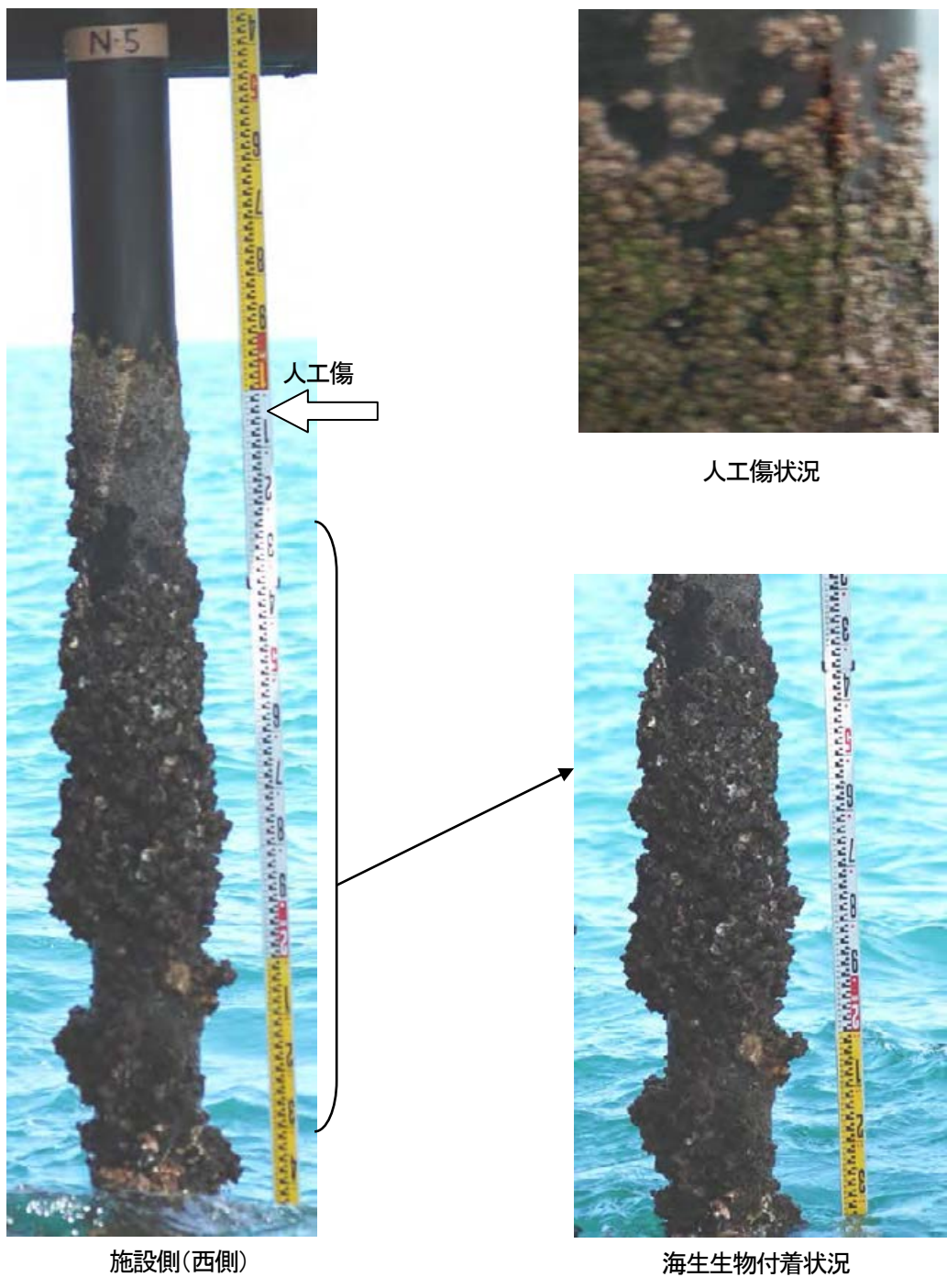
本試験材は、2003年度の暴露開始時に T.P. +1300 および T.P. +500 の位置にスクラッチ傷を各々2箇所付与し、暴露1年後の2004年度に各レベルごとに1箇所ずつ現地補修を実施したものである。

試験材上部からのもらい錆による変色（茶褐色）と、飛沫帯のスクラッチ傷内部からの錆汁が見られ、スクラッチ傷も若干開いているのが認められた。しかし、その他の部位に異状は認められず、健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.5.2および写真-3.3.5.3、外観スケッチを図-3.3.5.2に示す。

東面 T.P. +1300 および T.P. +500 の位置のスクラッチ傷内部の鋼材に腐食が見られ、T.P. +1300 の傷部においては PE 被覆に若干浮きが認められた。T.P. +500 の PE 被覆には浮き等の異状は見られなかった。西面 T.P. +1300 および T.P. +500 の位置の補修部は、どちらも異状は認められず、健全な状態であった。PE 被覆下端部のシーラントは、ほぼすべて脱落している状態が見られたが、PE 被覆の浮きなどは見られず、健全な状態であることが認められた。

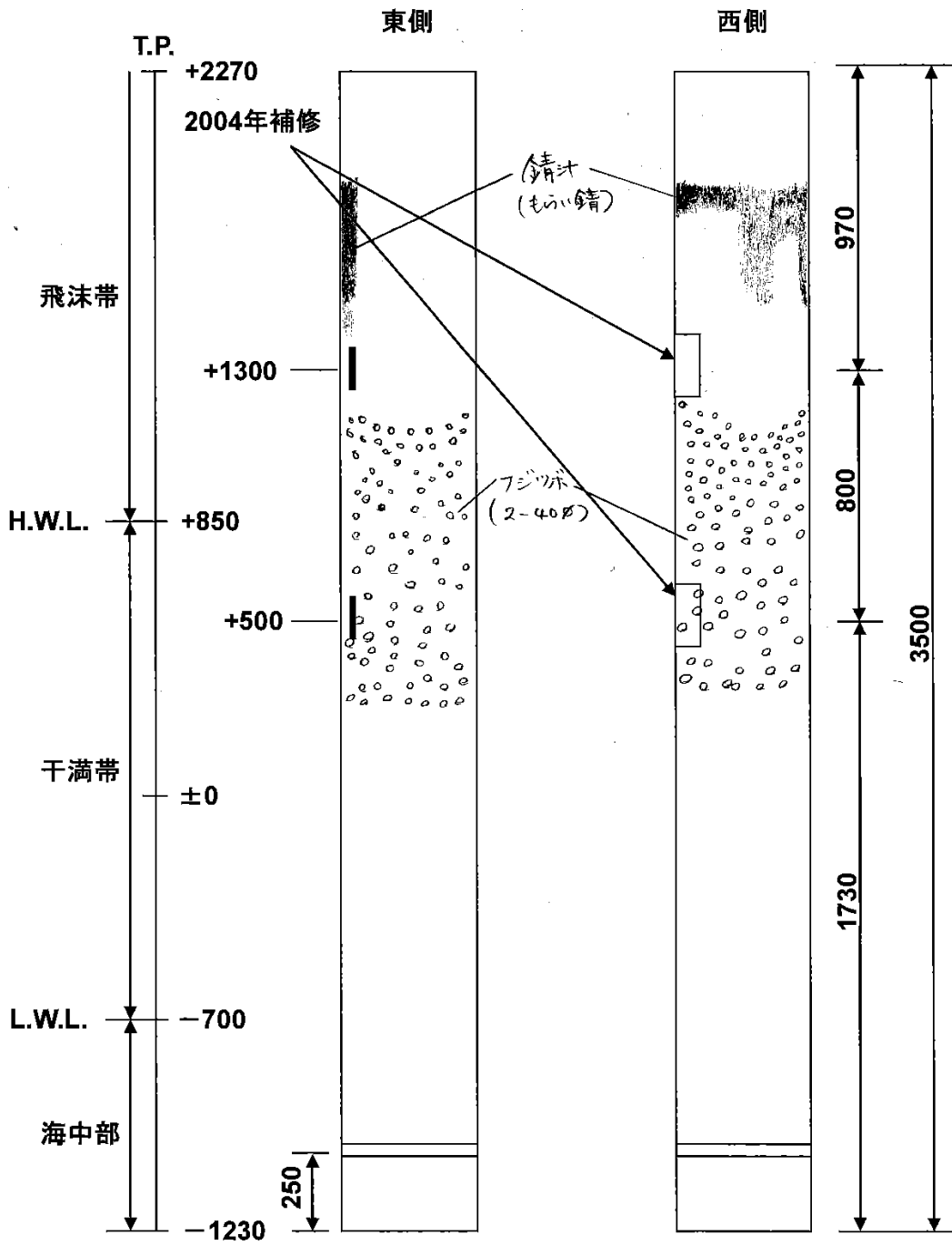


新規暴露試験材

防食系：ポリエチレン被覆

防食仕様：ポリエチレン被覆（3.5mm）

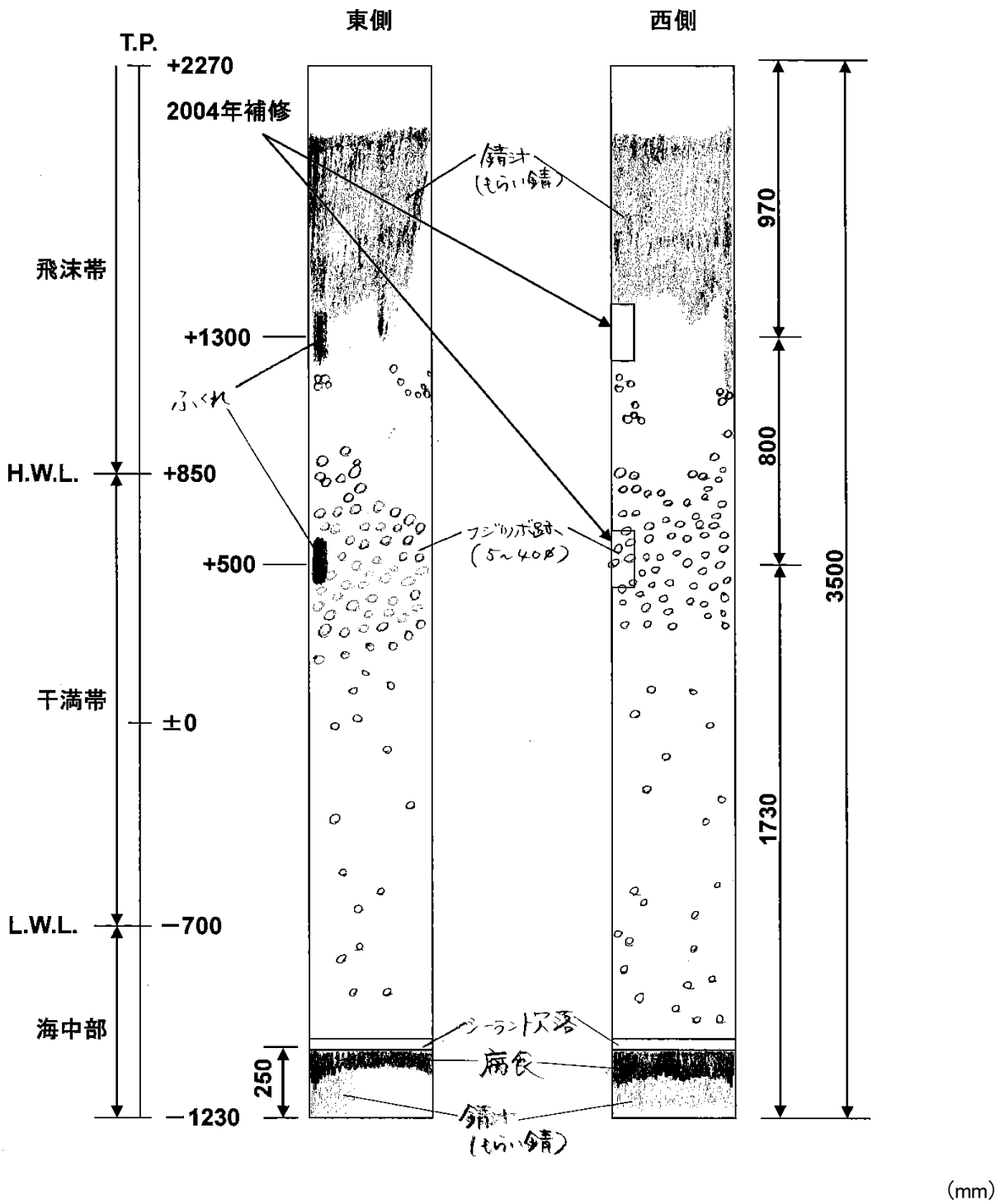
写真-3.3.5.1 試験材N-5 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

防食系：ポリエチレン被覆
 防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm)

図-3.3.5.1 試験材 N-5 海生生物除去前の外観図



防食系：ポリエチレン被覆
 防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm)

図-3.3.5.2 試験材 N-5 海生物除去後の外観図

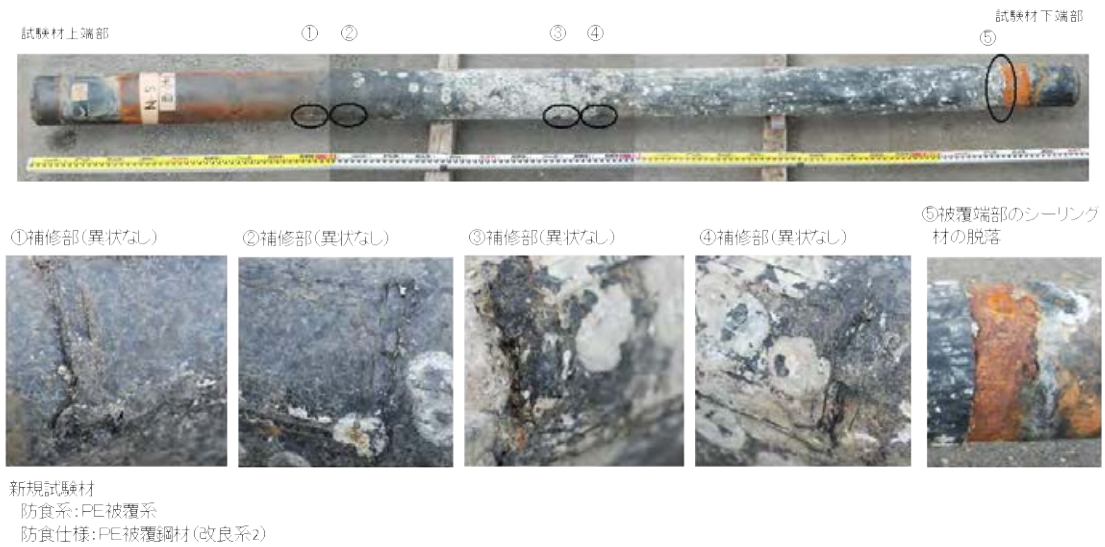


写真-3.3.5.2 試験材 N-5 の海生生物除去後の外観観察結果(西側)



写真-3.3.5.3 試験材 N-5 の海生生物除去後の外観観察結果(東側)

3.3.5.2 詳細調査

3.3.5.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。また、被覆補修部(パッチ当て補修

部)や、人工欠陥部(線状傷)部も別途観察し、写真撮影を実施した。

(2) 接着強度(90度剥離強度)の測定

飛沫部(下端より2100mm)、干満上部(下端より1200mm)、干満下部(下端より900mm)、海中部(下端より300mm)の位置について、試験材の一部を強制的に剥離し、引張試験機により10mm/minの引張速度で剥離したときの反力から90度剥離強度を測定した。測定は室温(23~25℃)で実施した。またパッチ当て部についても、その接着強度を同様に測定した。

(3) 人工欠陥部、補修部および被覆端部の被覆層の状況

人工欠陥部の周囲および補修部の状況について、周囲の被覆層を一部剥離することでそのダメージ範囲・錆侵入距離を測定した。また傷部の板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターにて板厚を計測した。

(4) 被覆層の物性調査

飛沫部の4方向におけるポリエチレン被覆層を強制的に剥離し、JIS5号ハーフダンベルに打ち抜き後、室温にて5mm/minの引張速度にて、降伏強度、伸び、破断強度を測定した。

3.3.5.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察

写真-3.3.5.4~3.3.5.7に、各部(飛沫部~海中部)の外観を示す。

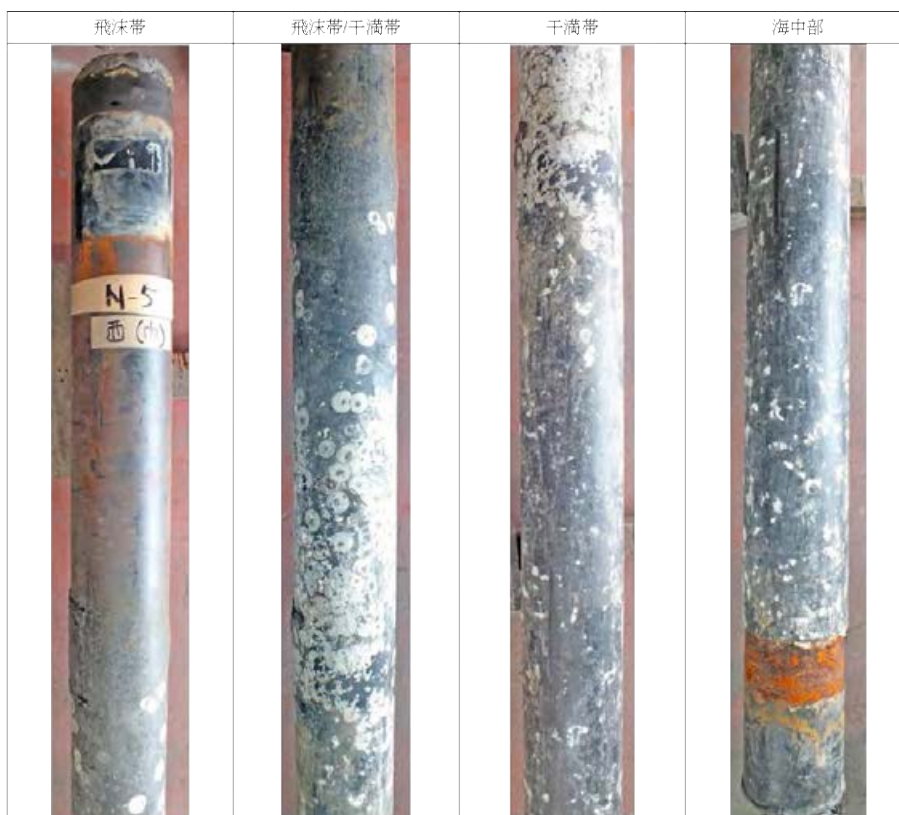


写真-3.3.5.4 N-5材の各部位における外観(西側)



写真-3.3.5.5 N-5 材の各部位における外観 (北側)



写真-3.3.5.6 N-5 材の各部位における外観 (南側)



写真-3.3.5.7 N-5 材の各部位における外観（東側）

外観上被覆層の著しい損傷や大きな浮きなどは認められない。東側に位置する線状傷を施した領域で赤錆の発生およびその周囲に数 mm 程度の軽微な浮きが認められた。パッチ当て補修を施した補修部については、周囲からの剥離もなく 10 年経過後も良好な状態であった。被覆層の下端部のシール材脱落および下端部の鋼管保護用タールエポキシ樹脂塗料の剥離が認められた。



写真-3.3.5.8 N-5 飛沫部・干満部のパッチ当て補修部および人工線状欠陥部の外観

写真-3.3.5.8には、飛沫部、干満部におけるパッチ当て補修部および人工線状欠陥部の外観を示す。パッ

チ当て補修部には脱落・一部の剥離は認められない。良好な外観を示している。人工線状傷部分については、傷部の鋼に腐食が認められ、飛沫部の人工傷周辺に一部わずかな被覆層の浮きが観察された。

(2) 接着強度(90度剥離強度)の測定

表-3.3.5.1、3.3.5.2 に各部の接着強度の測定結果を示す。

表-3.3.5.1 N-5材の各部位における接着強度の測定結果

部位	接着強度 (90度剥離強度) (N/cm)	剥離部位
飛沫部	158	接着性PE/プライマー+鋼/プライマー混合
干満部上部	128	接着性PE/プライマー+鋼/プライマー混合
干満部下部	200以上	接着性PE/プライマー間+PE 破断
海中部	106	接着性PE/プライマー+鋼/プライマー混合

表-3.3.5.2 N-5材のパッチ当て補修部の接着強度

	溶着部接着強度 (N/cm)	剥離部位	パッチ部付着強度 (N/cm)	剥離部位
飛沫部	140	PE/溶着PE	13	PEシート/防食材
干満部	109	PE/溶着PE	25	PEシート/防食材

各部位の接着強度は100N/cm以上の値を示し、良好な接着強度を示した。また補修部については、パッチ当て部の周囲をPE溶着法で接着した部位は、109～140N/cmと良好な値を示しており、補修部の有効性が示されている。人工欠陥部内に防食層を挿入した部分は、PEと防食層間に付着がないため低値を示すが、周囲の溶着部に十分な接着強度があるので問題ない。

(3) 人工欠陥部、被覆端部の被覆層の状況

表-3.3.5.3 に、人工欠陥部および被覆層下端における最大剥離幅および平均剥離幅を示す。また表-3.3.5.4には、人工欠陥部およびその周囲の最大板厚減少量を示す。また傷部の外観を写真-3.3.5.9に示す。

表-3.3.5.3 人工線状欠陥部および被覆層下端部の剥離距離

部位	最大剥離幅(片側) (mm)	平均剥離幅(片側) (mm)
飛沫部(線状傷)	38.6	28.9
干満部(線状傷)	17.8	13.9
海中部(被覆下端)	0.8	0.1

表-3.3.5.4 人工欠陥部周辺の最大・平均板厚減少量 (mm/10年)

部位	傷部	傷部+5mm	傷部+10mm	傷部+15mm	傷部+20mm
飛沫部(線状傷)	1.38 (0.62)	0.77 (0.50)	0.51 (0.32)	0.18 (0.11)	≒0.16 (0.09)
干満部(線状傷)	1.07 (0.81)	0.40 (0.24)	0.076 (0.03)	≒0	≒0

()内数値は平均値

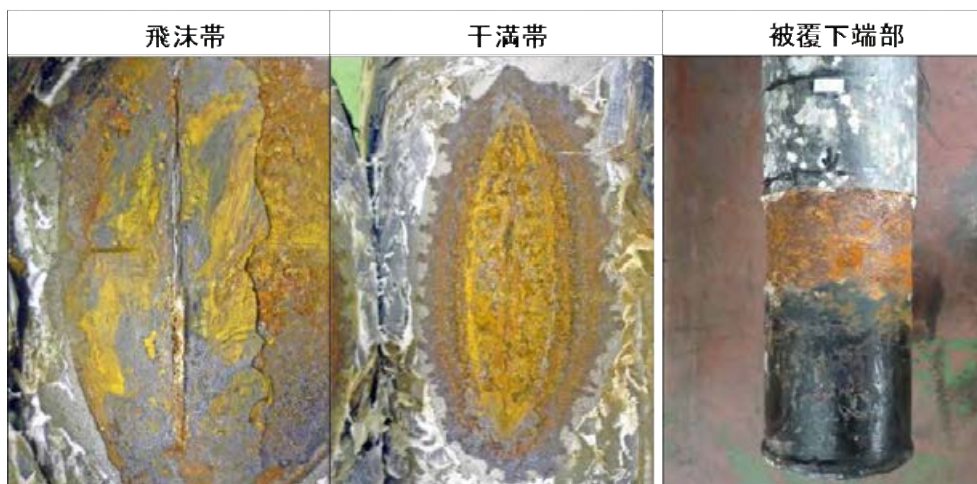


写真-3.3.5.9 傷部の外観と被覆層下端部の状況

線状傷周辺での剥離は、飛沫部で大きく干満部で小さい。片側に剥離が進行する速度は、平均で 2.9mm/y 程度であり非常に小さいことが判る。海中部は被覆層下端からの剥離距離となるが、殆ど無視できる長さであった。人工欠陥部の板厚減少量は、傷部では最大 1~1.4mm であったが、傷部から離れるに従い腐食量は減少した。傷部は、初期の傷深さが不明瞭であるが、傷部からの 5mm 程度離れた場合には、最大腐食量は飛沫部で 0.77mm 程度であり、その腐食速度は、0.08mm/y 程度と考えられる。

(4) 被覆層の物性調査

表-3.3.5.5 に測定した部位毎の被覆層のポリエチレンの機械的特性を示す。

表-3.3.5.5 N-3 試験材の被覆層から採取したポリエチレンの機械的物性

部位	最大破断荷重 (N/cm ²)	伸び (%)
飛沫部	2456	415

(採取 PE 時に傷ができてしまい、傷から破断した。)

ポリエチレン被覆層を強制的に剥離したため、引張試験時の破断が傷より発生し、正確な測定が困難であった。今回の測定値は参考値である。

3.3.5.3 N-5 試験材調査まとめ

(1) 外観上においては、以下が認められた。

- ・人工線状欠陥部における錆の生成および飛沫帯における人工線状欠陥部周辺の軽微な浮き。
- ・試験材下端に位置する裸部保護用塗装(タールエポキシ樹脂塗料)の劣化 (腐食発生・一部剥離)。
- ・パッチ当て補修部は健全。

(2) 被覆層の接着強度(90度剥離強度)

被覆層の接着強度は、飛沫・干満・海中部のいずれでは100N/cm以上の高い値を示し、良好であった。部位別には海中部が最も接着強度が低下した。いずれも接着強度は、40N/cm以上の値を示しており、防食性は尚高いと考えられる。

(3) 人工線状欠陥部、被覆層下端部からの状況

人工線状欠陥部の周囲には、飛沫部で25mm程度、干満部で13mm程度の剥離が観察された。10年間の進行を考えるとその剥離速度は、飛沫部で2.5mm/y程度、干満部で1.3mm/y程度である。また線状欠陥部周囲の板厚減少も観察され、欠陥部から5mm程度の位置において飛沫部で0.77mm/10年、干満部で0.4mm/10年程度であった。被覆層の傷部については、10年程度では上記の値程度に収まるが補修することが望ましい。特に発見から10年以内には補修することが推奨される。

(4) 被覆層ポリエチレンの機械的物性

ポリエチレン層の機械的物性の調査を試みたが、強制的な剥離による試験材へのダメージから正確な測定は困難であった。今回の測定値は参考値とする。

3.3.6 試験材 N-6 (新規暴露材)

3.3.6.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.6.1、外観スケッチを図-3.3.6.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が見られたが、その他には異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が多量に付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.6.2および写真-3.3.6.3、外観スケッチを図-3.3.6.2に示す。

海生生物が付着した部位のPE被覆にも異状は無く、健全な状態であることが認められた。

PE被覆下端部のシーラントは部分的に脱落していたが、PE被覆に浮きなどは見られなかった。また、PE被覆の無い試験材下端部の鋼材部分も腐食は生じておらず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(3) 電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.6.1に示す。

今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1075~-1095mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.6.1 試験材 N-6 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T. P. +900	T. P. +400	T. P. -100	T. P. -600	T. P. -1100	
2005年	—	-1086	-1089	-1090	-1089	-1088
2008年	—	-1089	-1090	-1092	-1093	-1091
2011年	-1067	-1067	-1067	-1068	-1069	-1068
2013年	-1086	-1075	-1091	-1095	-1092	-1087

(4) アルミニウム合金陽極の消耗量測定

アルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表-3.3.6.2、写真-3.3.6.4に示す。



施設側(西側)



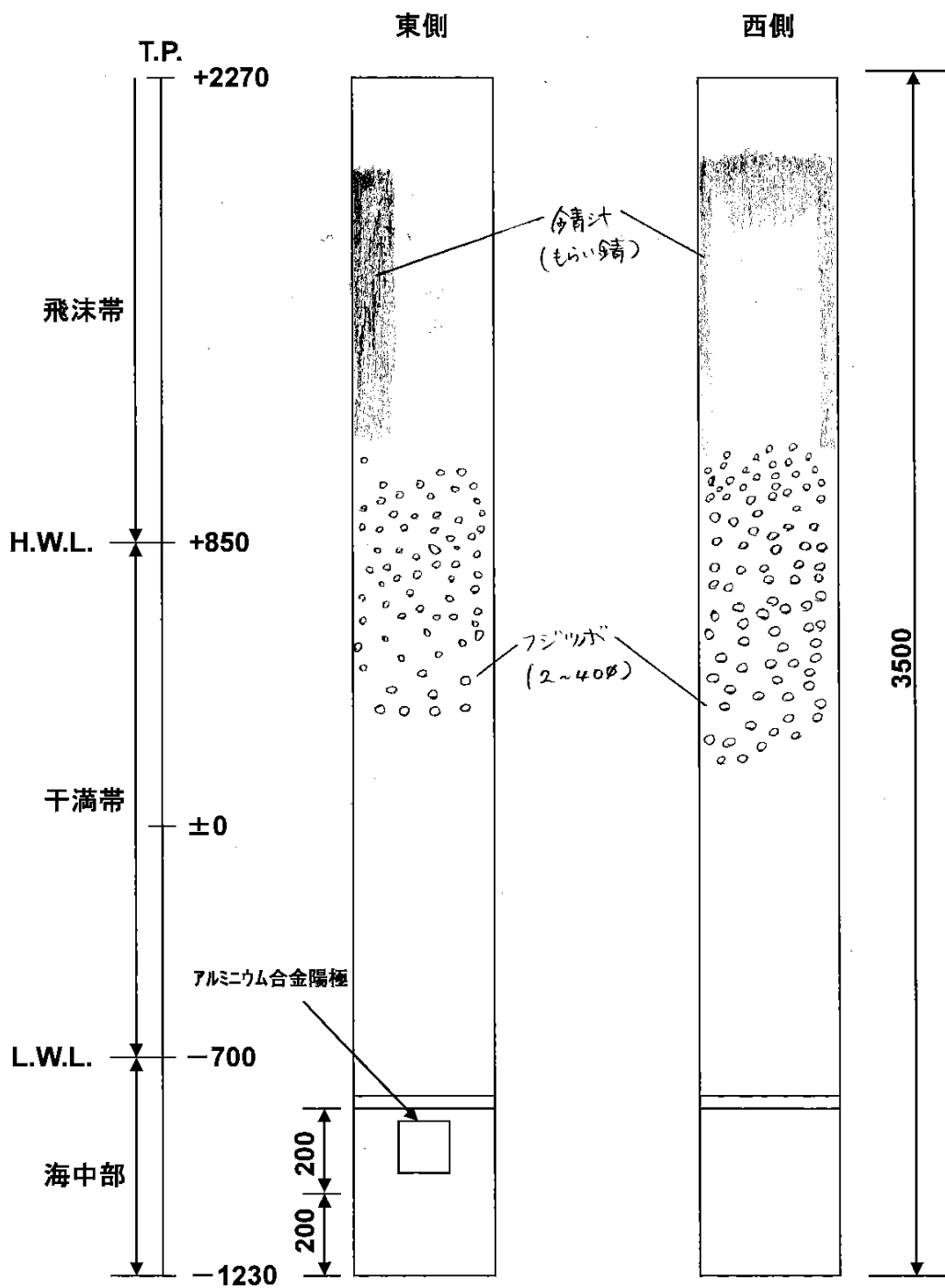
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆（3.5mm）＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.6.1 試験材 N-6 海生生物除去前の外観状況写真

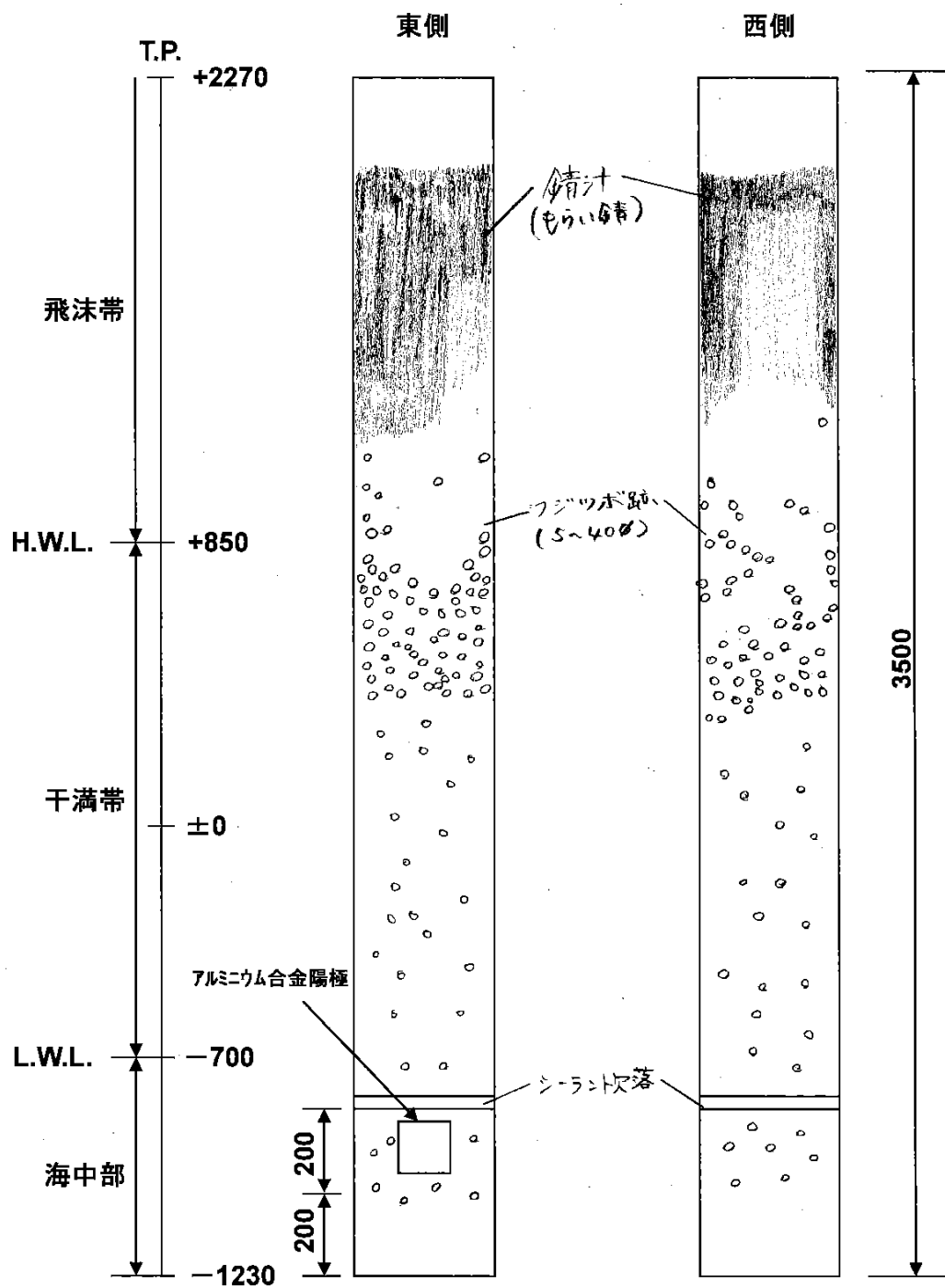


(mm)

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆（3.5mm）＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.6.1 試験材N-6 海生物除去前の外観図



(mm)

防食系：ポリエチレン被覆＋電気防食

防食仕様：ポリエチレン被覆 (3.5mm) ＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.6.2 試験材 N-6 海生生物除去後の外観図



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③被覆端部シーリング材の損傷



②海生生物(フジツボ類)の付着跡(φ5~φ40、被覆に異状は認められない)



新規試験材
防食系:PE被覆系
防食仕様:PE被覆鋼材
(改良系2+アルミニウム
合金陽極)

写真-3.3.6.2 試験材 N-6 (西面) 海生生物除去後の外観状況



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③被覆端部シーリング材の損傷



②海生生物(フジツボ類)の付着跡(φ5~φ40、被覆に異状は認められない)



新規試験材
防食系:PE被覆系
防食仕様:PE被覆鋼材(改良系2+アルミニウム
合金陽極)

写真-3.3.6.3 試験材 N-6 (東面) 海生生物除去後の外観状況

表-3.3.6.2 試験材N-6 アルミニウム合金陽極質量・形状測定結果

		陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)			(kg/y)
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
測定年度	測定方向							
2013年	東	42	69	147	1.07	0.89	0.18	0.018

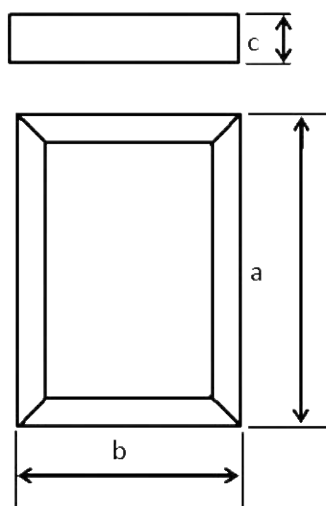


図 陽極寸法計測位置



写真-3.3.6.4 陽極外観状況 (試験材 N-6)

3.3.6.2 詳細調査

3.3.6.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。

3.3.6.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察結果

各部外観の詳細写真を写真-3.3.6.5~3.3.6.8 に示す。海生生物の付着や、ポリエチレン表面における擦り傷などが位置部認められるが、被覆層は健全でありその劣化は認められなかった。また端部などにおいても被覆層の浮きなどは認められなかった。ただし陽極取り付け部に保護のため塗布したタールエポキシ樹脂塗料やシール材に剥離が認められた。

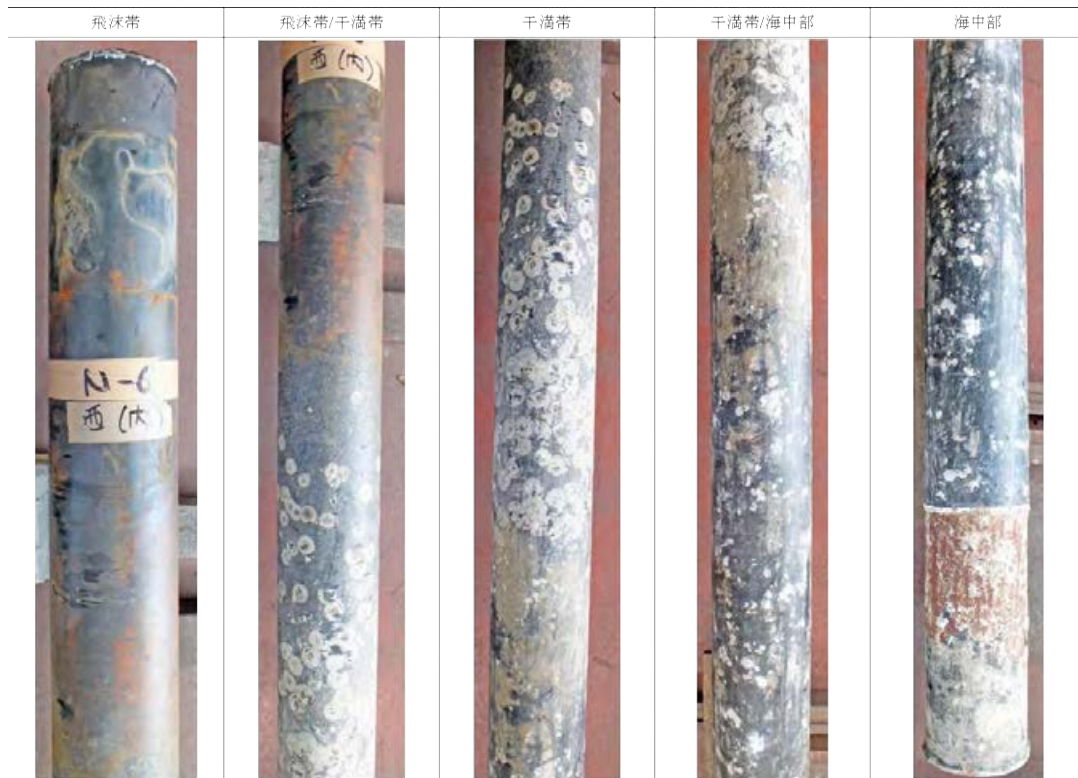


写真-3.3.6.5 N-4材の各部位における外観（西側）

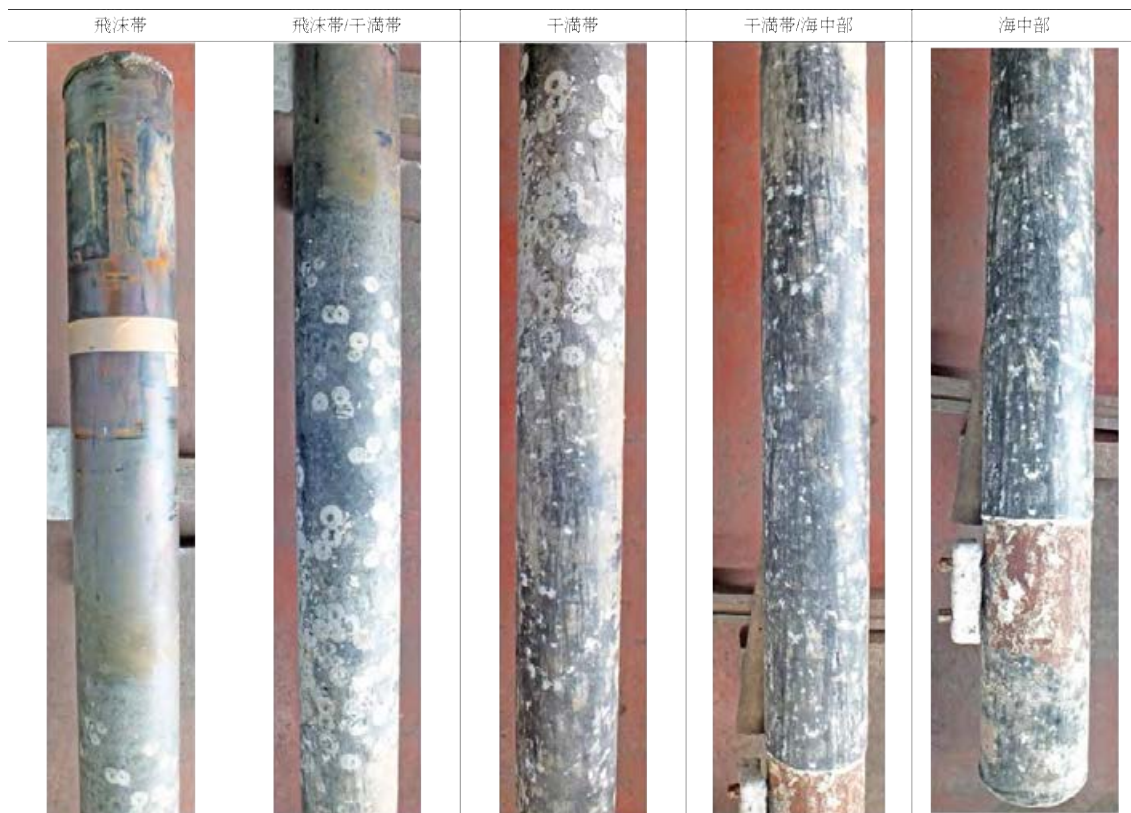


写真-3.3.6.6 N-4材の各部位における外観（南側）



写真-3.3.6.7 N-4 材の各部位における外観（北側）



写真-3.3.6.8 N-4 材の各部位における外観（東側）

3.3.6.3 N-4 試験材調査まとめ

N-6 材については、飛沫部の一部に漂流物の衝突による軽微な傷や擦り傷などが一部において認められたが、被覆層に浮きなどの劣化は認められず健全な状態であると考えられる。ただし、陽極取り付け部の保護用タールエポキシ樹脂塗料やシール材に剥離が認められた。陽極は尚健全であり、防食電位も-1090mV vs SCE であり問題ないレベルであった。

N-6 材については尚健全性を維持しており防食被覆として問題ないと考えられる。

3.3.7 試験材 N-7

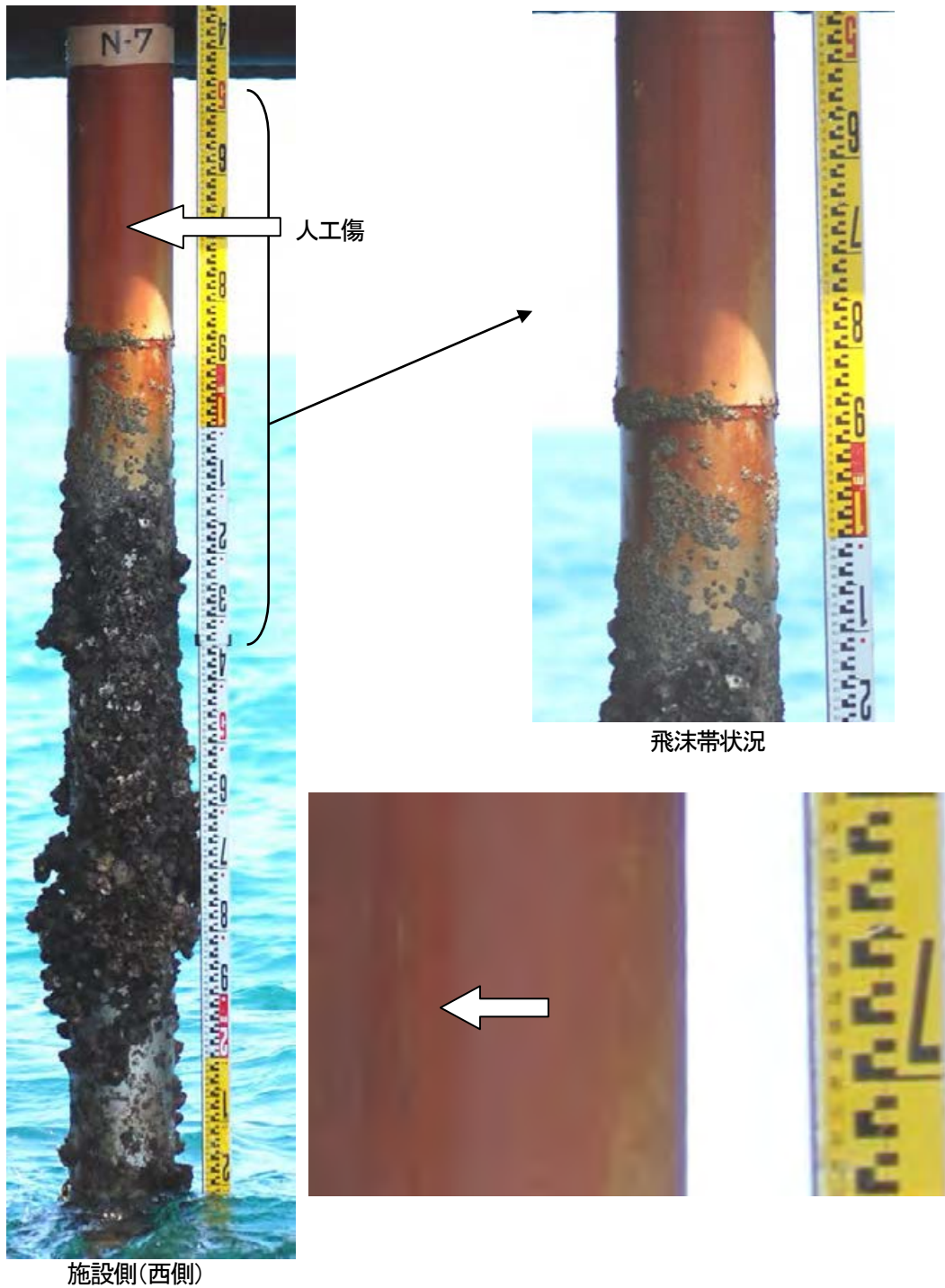
3.3.7.1 現地調査

N-7試験体では、海洋環境での長期耐久性を有し、かつ衝撃や傷にも強い高耐食ステンレス鋼を被覆し、海中部では電気防食を併用する。また、海上大気部は、超厚膜型エポキシを行い、長期に渡ってメンテナンスの少ない防食方法の防食性能を評価することを目的としている。試験材の外観状況を写真-3.3.7.1に示す。試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が試験材上端部からステンレス被覆上部にかけてみられたが、超厚膜エポキシ塗膜の剥離や発錆等の異状は認められず健全な状態であった。また、スクラッチ傷部の異状も認められなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけて多量のフジツボ類が付着していたが、干満帯中央部付近は、フジツボが脱落し、ステンレス被覆表面の露出箇所が多くなっていた。また、飛沫帯のエポキシ塗膜下端には小型のフジツボ類が付着していた。

海生生物除去前後の試験材の外観スケッチを図-3.3.7.1及び図-3.3.7.2に示す。写真-3.3.7.2及び写真-3.3.7.3は、付着物を除去した後の外観状況を示す。

東面 T.P.+1500 付近の位置の人工衝撃痕には、超厚膜エポキシ塗膜の剥離や発錆等の異状は見られず、健全な状態であることが認められた。

西面 T.P.+500 付近の位置のステンレス被覆補修部は、補修材および溶接部に異状は無く、健全な状態であることが認められた。また、海生生物が付着した部位の高耐食性ステンレス鋼は、一般部および溶接部のどちらにおいてもすきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

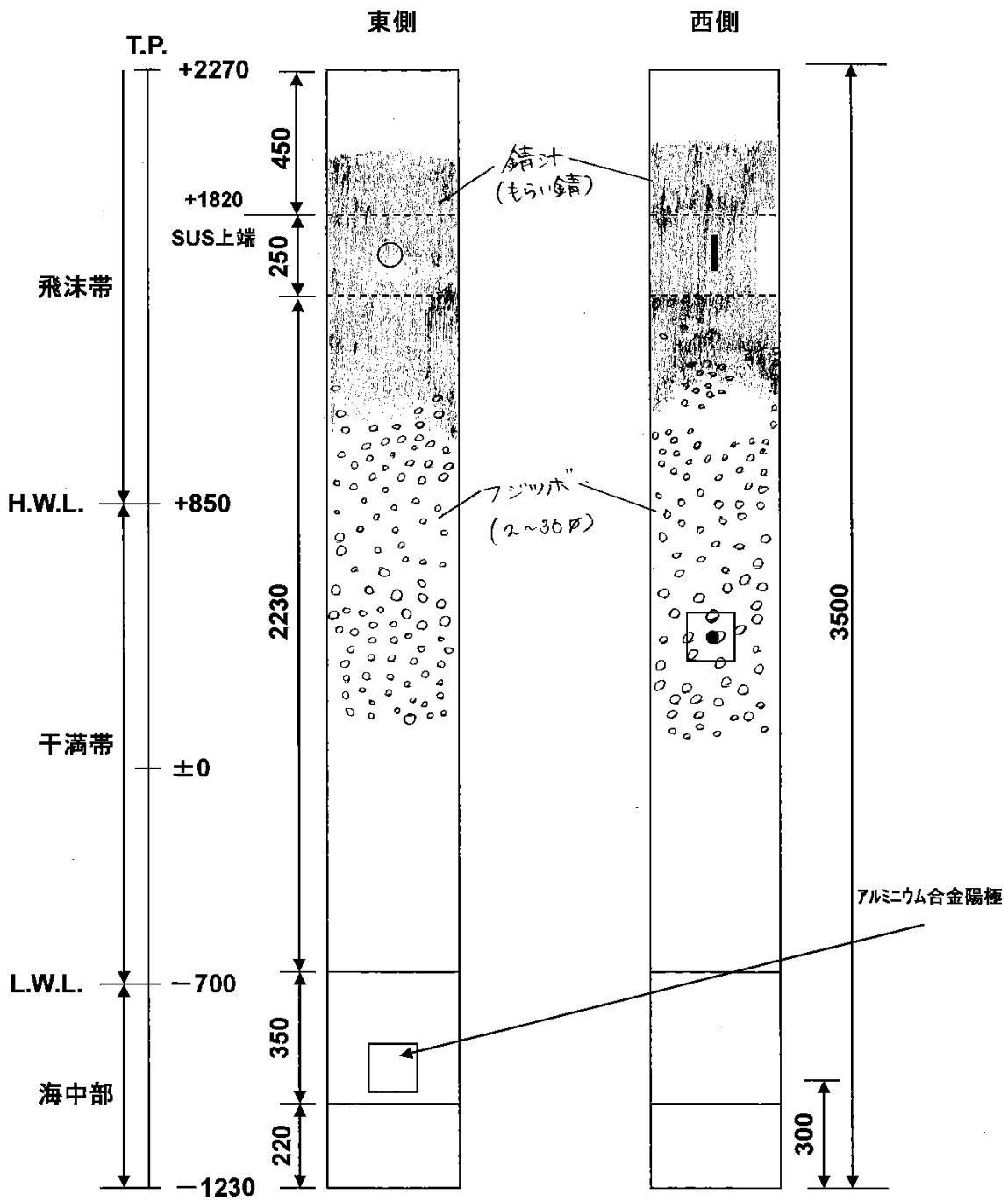


新規暴露試験材

防食系:海上部超厚膜型エポキシ+高耐食性ステンレスシートライニング+電気防食

防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N) + アルミニウム合金陽極

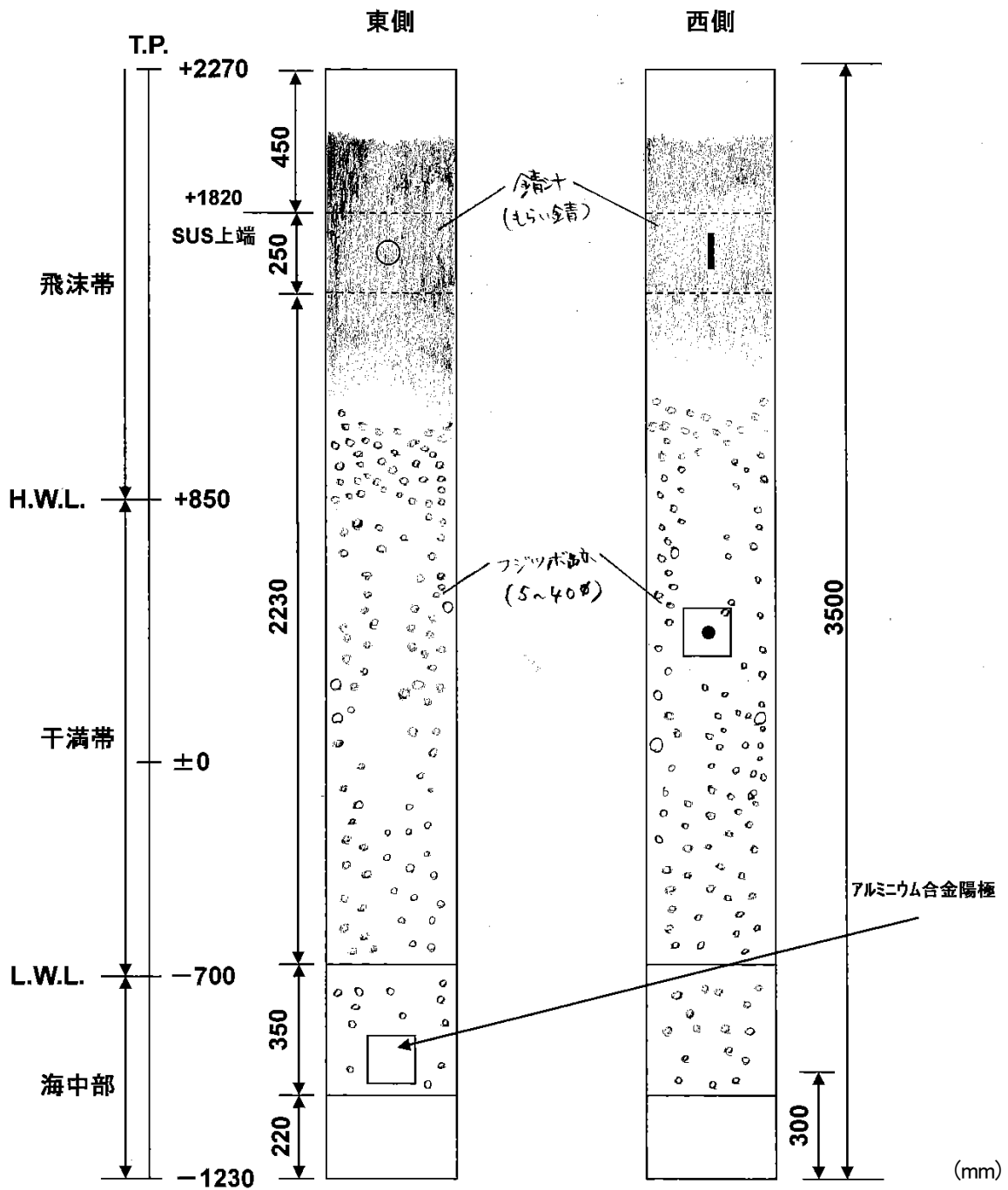
写真-3.3.7.1 試験材 N-7 海生生物除去前の外観状況



(mm)

防食系:海上部超厚膜型エポキシ+高耐食性ステンレスシートライニング+電気防食
 防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N) +アルミニウム合金陽極

図-3.3.7.1 試験材 N-7 海生生物除去前の外観スケッチ



防食系: 海上部超厚膜型エポキシ+高耐食性ステンレスシートライニング+電気防食
 防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

図-3.3.7.2 試験材 N-7 海生生物除去後の外観スケッチ



①スクラッチ傷部(飛沫帯、異状なし)



②補修部の溶接に異状は認められない



③SUS溶接部に異状は認められない

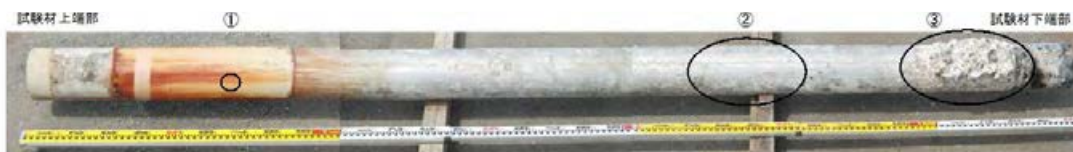


・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系:海上部超厚膜形エポキシ樹脂塗装+高耐食性ステンレスシートライニング+電気防食
防食仕様:(20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.7.2 試験材 N-7 海生生物除去後の外観 (西面)



①人工衝突痕(異状なし)



③アルミニウム合金陽極の消耗状況



②高耐食性SUS溶接部(異状なし)



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系:海上部超厚膜形エポキシ樹脂塗装
+高耐食性ステンレスシートライニング+電気防食
防食仕様:(20Cr-18Ni-6Mo-0.7Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.7.3 試験材 N-7 海生生物除去後の外観 (東面)

試験材の電位測定結果を表 3.3.7.1 に示す。今回(2013 年)、深度方向に対して 500mm 毎に測定された電位は -1050~-1057mV vs. SCE であり、2011 年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.7.1 試験材N-7の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1059	-1060	-1060	-1060	-1059
2008年	—	-1071	-1074	-1075	-1074	-1074
2011年	-1055	-1057	-1053	-1055	-1057	-1055
2013年	-1055	-1057	-1055	-1050	-1052	-1053

3.3.7.2 詳細調査

詳細調査では、①塗膜の膜厚測定、②塗膜の基盤目密着試験、③塗装部の付着力測定、④塗装部分の交流インピーダンス測定、⑤塗装部分の絶縁抵抗測定、⑦犠牲亜鉛陽極の消耗量測定および⑧海中部のタールエポキシ塗装部の欠陥率を測定した。

表 3.3.7.2 に試験材の塗装部付着力測定結果を示す。西面と東面で、飛沫帯の超厚膜エポキシ塗装部と海中部のタールエポキシ部で測定した。いずれも付着力は1~3MPaの範囲にあり、鋼材と塗装の界面で100%剥離したものはなかった。

表-3.3.7.2 塗装部付着力測定結果

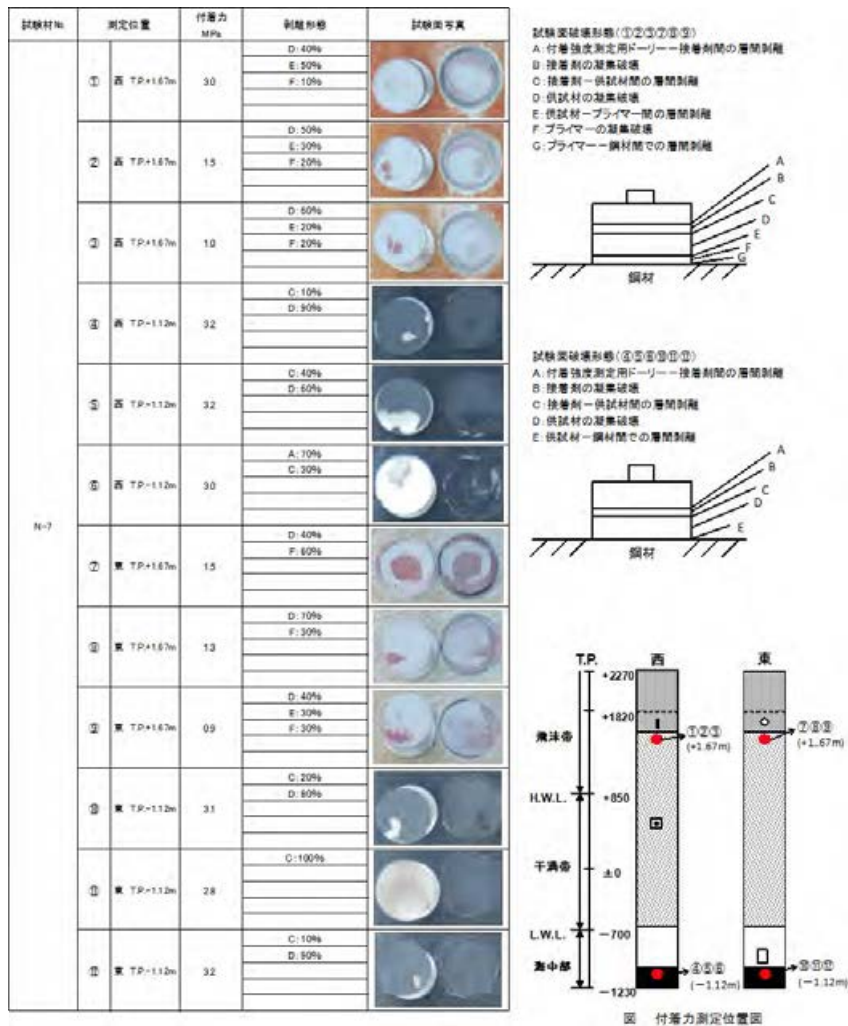


表-3.3.7.3 に飛沫帯の超厚膜型エポキシ塗装の交流インピーダンス測定結果を示す。交流抵抗値は、約 $5E+08 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上で静電容量は約 60~80pF であった。表-3.3.7.4 に海中のタールエポキシ塗装部の交流インピーダンスの測定結果を示す。交流抵抗値は、約 $1E+08 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上で静電容量は約 250~350pF であった。

表-3.3.7.3 塗装部の交流インピーダンス測定結果

N-7(T.P.+1.67m)							
交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (pF)			
測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
西面	1.45E+09	1.02E+09	5.78E+08	西面	65.2	60.3	57.4
東面	1.67E+09	1.19E+09	6.19E+08	東面	79.2	74.4	71.4

表-3.3.7.4 塗装部の交流インピーダンス測定結果

N-7(T.P.-1.12m)							
交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)				静電容量 (pF)			
測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
西面	5.92E+08	3.36E+08	1.77E+08	西面	280	263	250
東面	4.78E+08	3.05E+08	1.43E+08	東面	347	326	310

表-3.3.7.5 に同様な箇所での絶縁抵抗の測定結果を示す。飛沫帯の超厚膜エポキシ塗装部では約 $3 \sim 6E+10 \Omega \cdot \text{cm}^2$ の絶縁抵抗を示し、海中部では、 $3E+11 \Omega \cdot \text{cm}^2$ の絶縁抵抗値を示した。

表-3.3.7.5 塗装部の絶縁抵抗の測定結果

測定年度	測定項目	絶縁抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	
2013年	西 T.P.+1.67m	1分値	3.50E+10
		2分値	3.00E+10
	東 T.P.+1.67m	1分値	6.25E+10
		2分値	5.75E+10
	西 T.P.-1.12m	1分値	3.00E+11
		2分値	3.00E+11
	東 T.P.-1.12m	1分値	3.00E+11
		2分値	3.00E+11

表-3.3.7.6 にアルミニウム合金陽極の消耗量の測定結果を示す。初期のアルミニウム合金陽極のほぼ半分が消耗していた。

表-3.3.7.6 アルミニウム合金陽極の消耗速度

測定年度	測定方向	陽極寸法 (mm)			陽極質量 (kg)			(kg/y)
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
2013年	東	26	145	284	2.89	1.5	1.39	0.139

更に、表-3.3.7.7 に示す項目についても調査を実施した。表-3.3.7.8 及び 表-3.3.7.9 にそれぞれショアDと鉛筆硬度の測定結果を示す。表-3.3.7.9 及び表-3.3.7.10 に超厚膜エポキシ塗装部とタールエポキシ塗装部の衝撃強度の測定結果を示す。超厚膜エポキシ塗装では、3kg・m 及び 5kg・m のいずれの場合とも塗膜が大きく剥離した。一方、海中部のタールエポキシ塗装部では、3kg・m 及び 5kg・m のいずれの場合も撃芯部周辺は僅かに剥離した。なお、衝撃強度試験後のピンホール検査ではピンホールありの判定結果となった。

表-3.3.7.7 調査項目

調査項目	方法
塗膜硬度測定	超厚膜型エポキシ塗装 TP+2100 近辺で2か所(施設側・海側) ショアD 硬度 タールエポキシ部 TP-1120 近辺で2か所(施設側・海側) 鉛筆硬度
衝撃強度(ASTM G-14)	超厚膜型エポキシ塗装 TP+1630 近辺で 3kg・m と 5 kg・m の衝撃強度で実施。 タールエポキシ部 TP-1120 で 3 kg・m と 5 k g・m の衝撃強度で実施。
高ステンレスライニングの飛沫帯塗装部の傷部・衝撃部腐食調査有無確認	飛沫帯の高耐食ステンレスシート+超厚膜エポキシ塗装部 <ul style="list-style-type: none"> ・傷部及び衝撃部の2か所の被覆を除去。 ・剥離後の外観写真撮影 ・腐食生成物が存在する場合は、腐食生成物を除去し、腐食深さをポイントマイクロメーターで測定する
高耐食性ステンレスライニングのパッチ当て補修部の調査	パッチ当て部分を含む4周を切断し、パッチ当て部分下の普通鋼の腐食有無を観察(写真)すると共に、超音波板厚計を用いて普通鋼の板厚を測定する
高耐食性ライニング部の腐食調査	付着物除去後、腐食生成物を酸洗除去し、溶接部及び溶接部以外の局部腐食が発生している場合は、最も深いと考えられるものをポイントマイクロを用いて各々5点ずつ測定する

表-3.3.7.8 ショアD硬度

測定位置	塗装	ショアD硬度	
		施設側(西)	海側(東)
T.P.+2100(下端から 3330mm)	超厚膜型エポキシ塗装	79 (19℃)	78 (19℃)
T.P.+1920(下端から 3150mm)	超厚膜型エポキシ塗装	79 (20℃)	79(20℃)

表-3.3.7.9 鉛筆硬度

測定位置	塗装	鉛筆硬度	
		施設側(西)	海側(東)
T.P.-1120(下端から 110mm)	タールエポキシ塗装	2H (24℃)	2H (24℃)

表-3.3.7.10 超厚膜型エポキシ塗装の衝撃強度

試験位置	膜厚	衝撃エネルギー	表面温度	結果
T.P.+1630 (北西側)	3650 μ m	3 kg \cdot m	15℃	塗膜が大きく剥離
T.P.+1630 (南側)	2930 μ m	5 kg \cdot m	15℃	塗膜が大きく剥離

衝撃試験 ASTM G-14 準拠 ポンチ直径 5/8in

表-3.3.7.11 タールエポキシ塗装の衝撃強度

試験位置	膜厚	衝撃エネルギー	表面温度	結果
T.P.-1120 (東側)	447 μ m	3 kg \cdot m	19℃	撃芯部周辺の塗膜がわずかに剥離 ピンホールあり
T.P.-1120 (北東側)	519 μ m	5 kg \cdot m	16℃	撃芯部周辺の塗膜が少し剥離 ピンホールあり

衝撃試験 ASTM G-14 準拠 ポンチ直径 5/8in、ピンホール検査 3kV

飛沫部の超厚膜エポキシ塗装した高耐食ステンレス鋼の傷部の観察結果を写真-3.3.7.4 に示す。傷部の塗膜をへらで剥離し、傷部から最大の剥離幅を求めたところ、5.5mm であった。なお、傷部には、薄い赤錆が観察されたが、ウエスで簡単に除去ができ、その下は全く腐食していなかった。薄い赤錆は、高耐食ステンレス鋼の上部の鋼部からの流れ錆と考えられる。

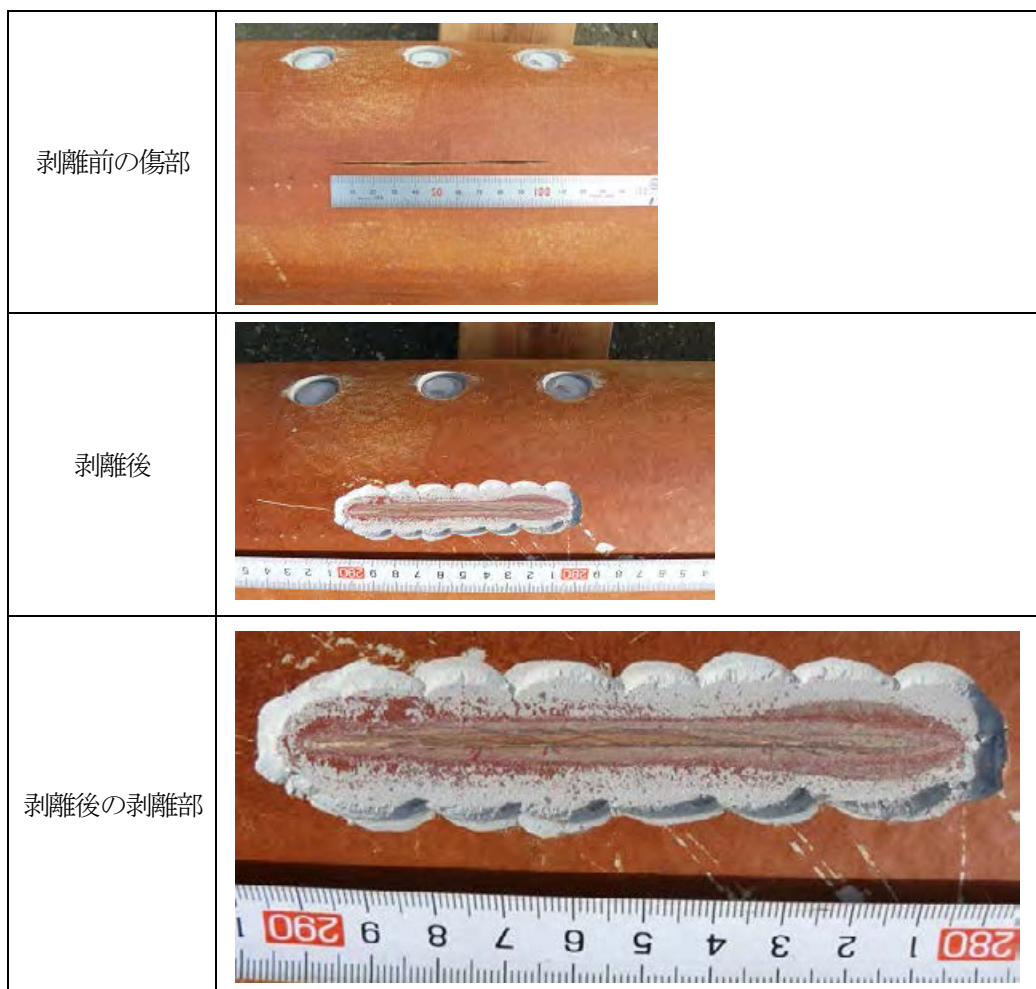


写真-3.3.7.4 傷部の剥離評価

衝撃部の超厚膜エポキシ塗装下での高耐食ステンレス鋼の腐食の有無を調べるため、写真-3.3.7.5に衝撃部をへらで剥離した結果を示す。衝撃部分の塗膜は円形状に剥離し、最大の剥離幅は、17mmであった。写真-3.3.7.5から明らかなように衝撃部で高耐食ステンレス鋼は腐食していなかった。写真-3.3.7.6に高耐食ステンレス鋼のパッチ当て補修部下の普通鋼の腐食有無を調べて結果を示す。写真-3.3.7.6から明らかなようにパッチ当て補修部下の普通鋼は全く腐食していなかった。



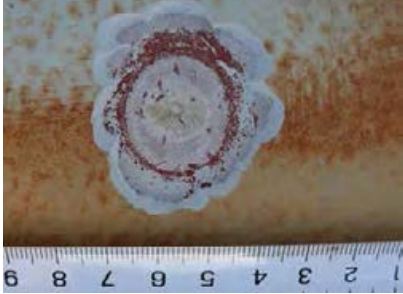
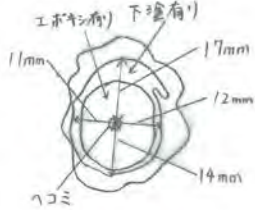
剥離前の傷部	
剥離後	
剥離部	
剥離部のスケッチ	

写真 3. 3. 7. 5 衝撃部の剥離評価

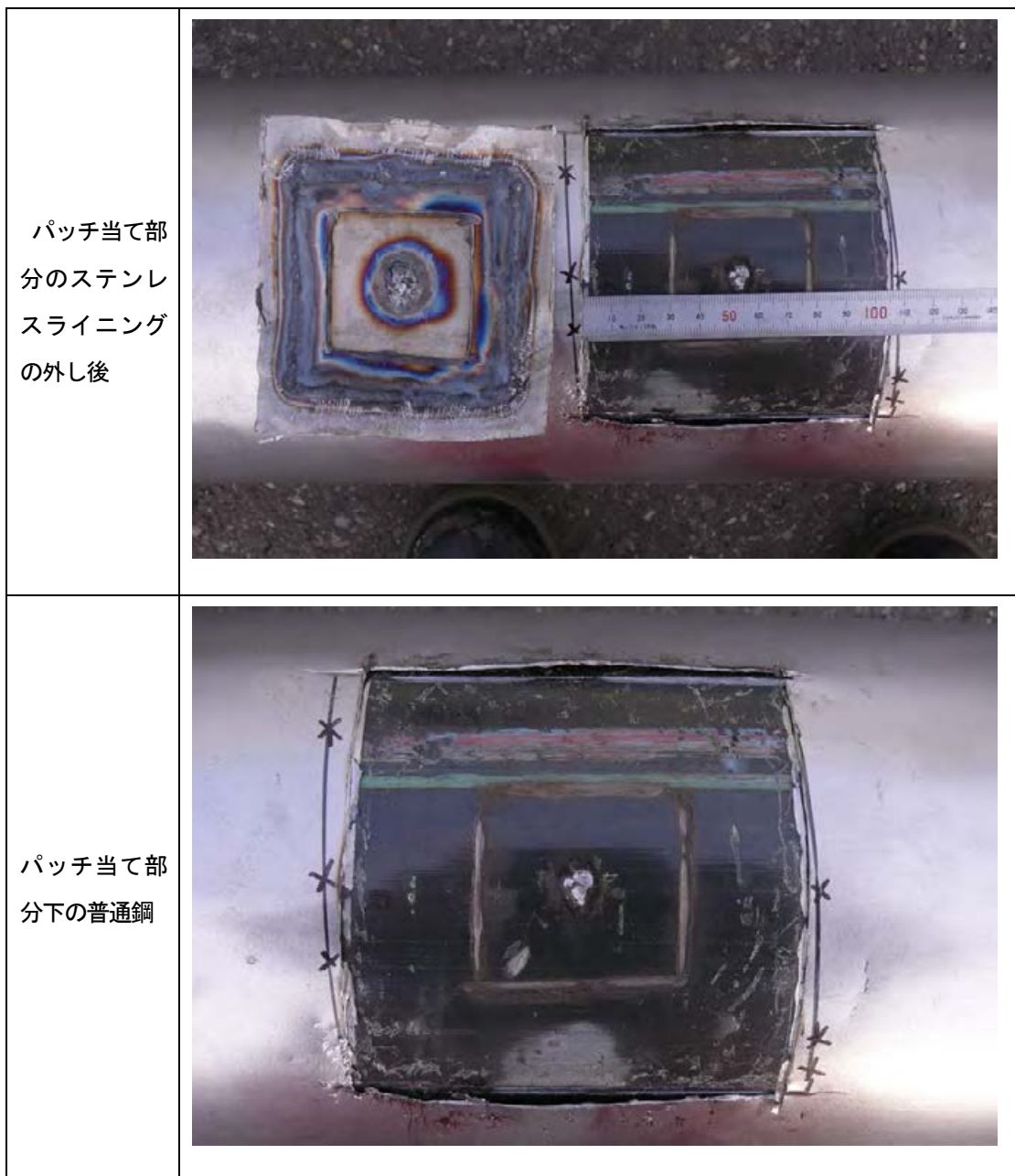


写真-3.3.7.6 高耐食ステンレス鋼パッチ当て補修部下の鋼材の腐食調査

次に高耐食ステンレス鋼の無塗装部分について、付着している貝を除去して腐食の有無を調査したところ、観察結果の一例を写真-3.3.7.7に示すが、溶接部を含めて局部腐食は全く発生していなかった。

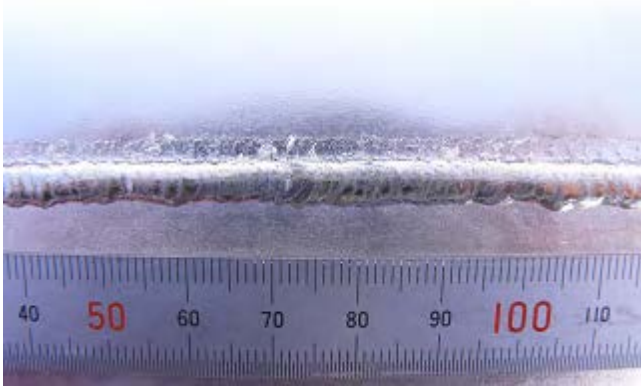
部位	外観写真	結果
溶接部		局部腐食は見られない。

写真-3.3.7.7 付着物を除去した後の高耐食ステンレスライニングの代表的な外観

3.3.7.3 まとめ

高耐食ステンレス鋼ライニング材は、傷部、衝撃部およびそれ以外の部分とも腐食は全く観察されず、極めて良好な耐食性を示すことが判明した。高耐食ステンレス鋼でパッチ当て補修した部分において、その下で普通鋼の腐食は発生していなかった。

塗装部の交流インピーダンス法による交流抵抗値も高く、密着性試験でも鋼材と塗装間で剥離したものはなかった。また塗装部のシェアD硬度測定試験及び鉛筆硬度測定試験でも良好な結果を示した。なお、衝撃強度試験では、超厚膜型エポキシ塗装は、塗膜が大きく剥離、タールエポキシ塗装部も塗膜がわずかに剥離した。

3.3.8 試験材 N-8

3.3.8.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.8.1、外観スケッチを図-3.3.8.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が試験材上端部のウレタン塗装部とステンレス鋼被覆の一部に見られたが、塗膜の剥離や発錆等の異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけて多量のフジツボ類が付着していたが、干満帯中央部付近は、フジツボ類が脱落し、ステンレス被覆表面の露出箇所が多くなっていた。

(2)海生生物除去後の外観観察

試験材の外観スケッチを図-3.3.8.2 に、外観状況を写真-3.3.8.2 および写真-3.3.8.3 に示す。

海生生物が付着した部位のステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、すきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。また、試験材下端部のステンレス鋼被覆の無い部分の鋼材面も腐食は見られず、電気防食効果が良好に機能していたことが認められた。

(3)電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.8.1 に示す。

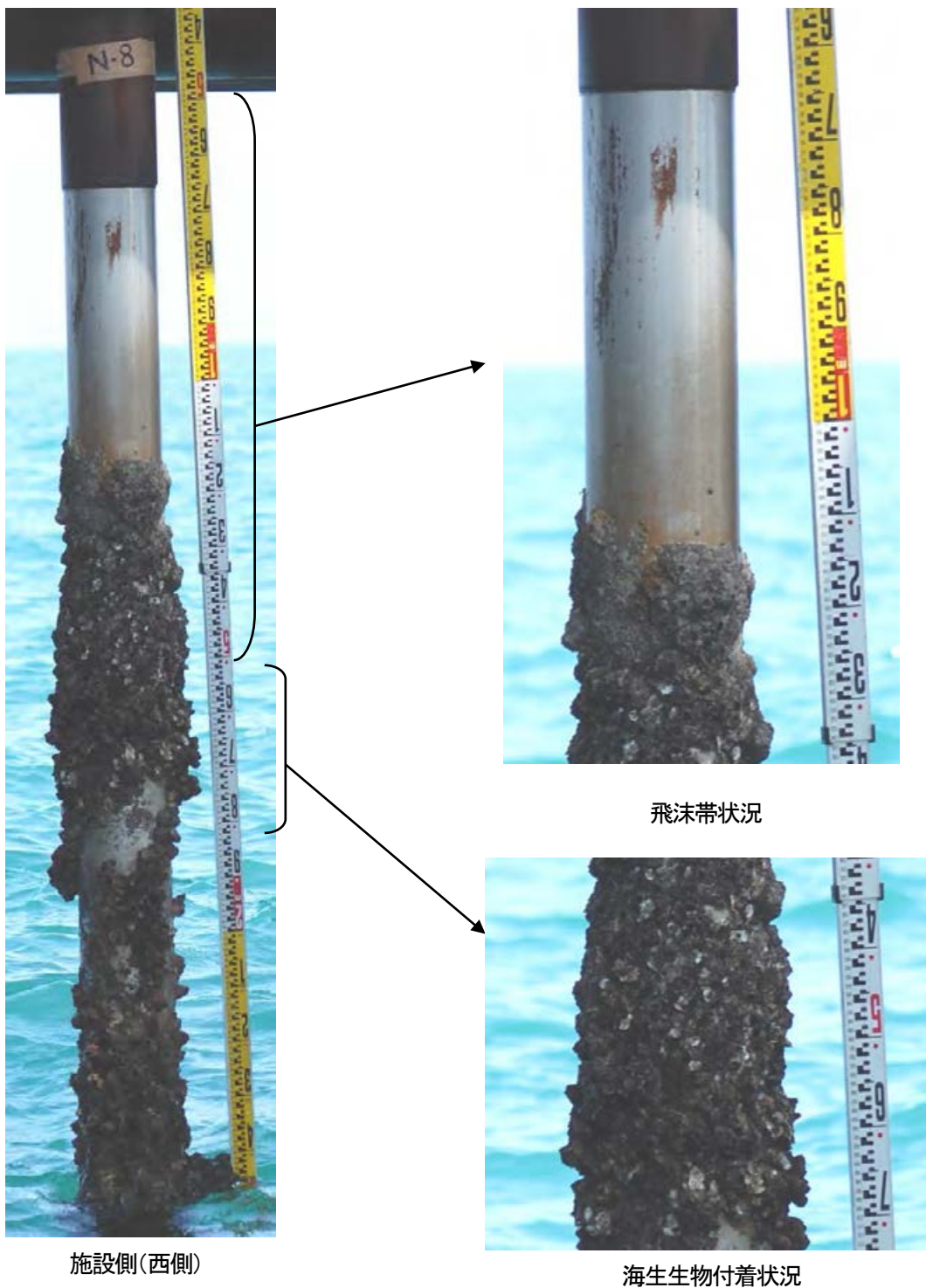
今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-981~-998mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

なお、2005年調査時から2008年調査時にかけて、140mV程度電位が卑化しているが、これは2007年に施設本体のアルミニウム陽極を更新したためである。従って、2005年から更新時までの電位は-860mVより貴化していた可能性がある。

表-3.3.8.1 試験材 N-8 の電位

(mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-864	-864	-864	-865	-864
2008年	—	-1000	-1002	-1003	-1004	-1002
2011年	-996	-997	-998	-999	-999	-998
2013年	-992	-981	-998	-993	-992	-991



施設側(西側)

飛沫帯状況

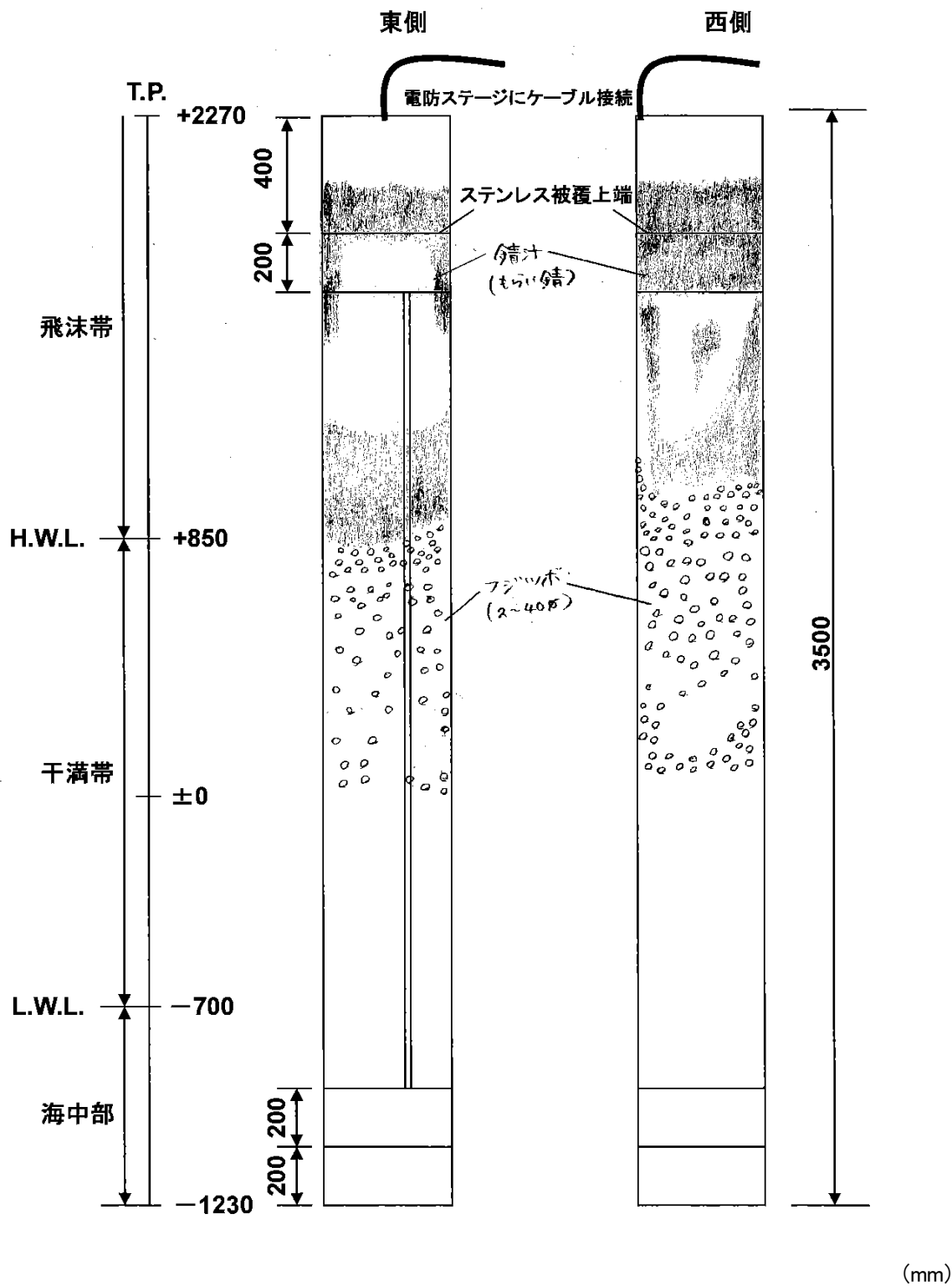
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)+電気防食(施設本体とケーブル接続)

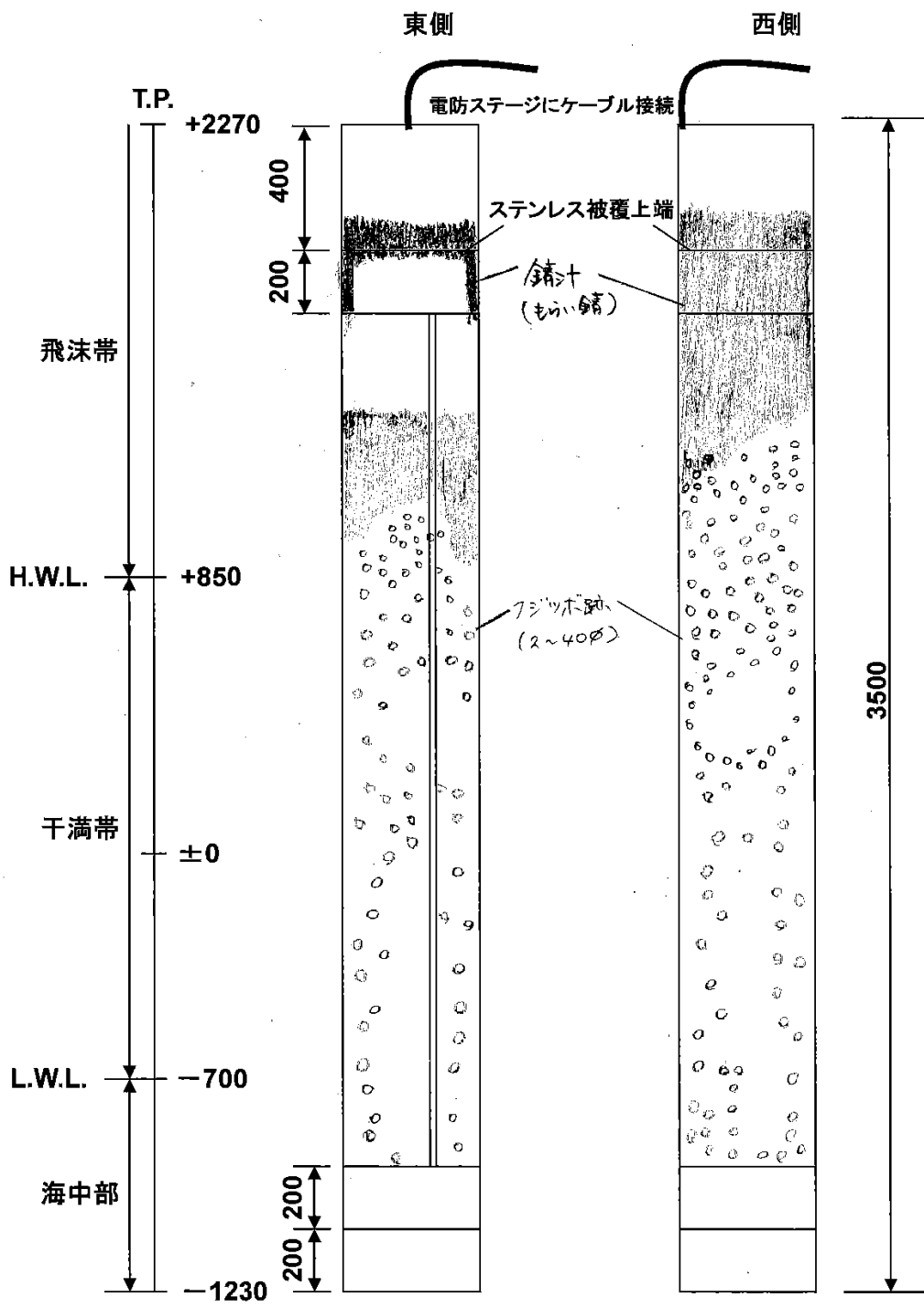
写真-3.3.8.1 試験材 N-8 海生生物除去前の外観状況写真



防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図-3.3.8.1 試験材 N-8 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食
 防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図-3.3.8.2 試験材 N-8 海生生物除去後の外観図



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③高耐食性SUS溶接部に異状は認められない



②高耐食性SUS部にすきま腐食などの局部腐食は認められない



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食
防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)
+電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.8.2 試験材 N-8(西面)海生生物除去後の外観状況



①飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③高耐食性SUS溶接部(異状なし)



②高耐食性SUS部にすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状なし



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆
+電気防食
防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)
+電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.8.3 試験材 N-8(東面)海生生物除去後の外観状況

3.3.8.2 詳細調査

本試験材 N-8 は腐食状況の調査後再曝露する予定であるため、破壊検査は行わずに表面腐食状況の観察のみ実施した。

写真-3.3.8.4 に表面外観状況の一例を示すように、海生生物付着下および付着のない自由表面とも、全く全面腐食および局部腐食とも認められなかった。

3.3.8.3 試験材N-8 のまとめ

飛沫帯下部から千満帯にかけて大型海生生物の付着が認められた。非付着部および付着物下とも 10 年曝露試験後において孔食、隙間腐食等の局部腐食は全く認められず健全であった。

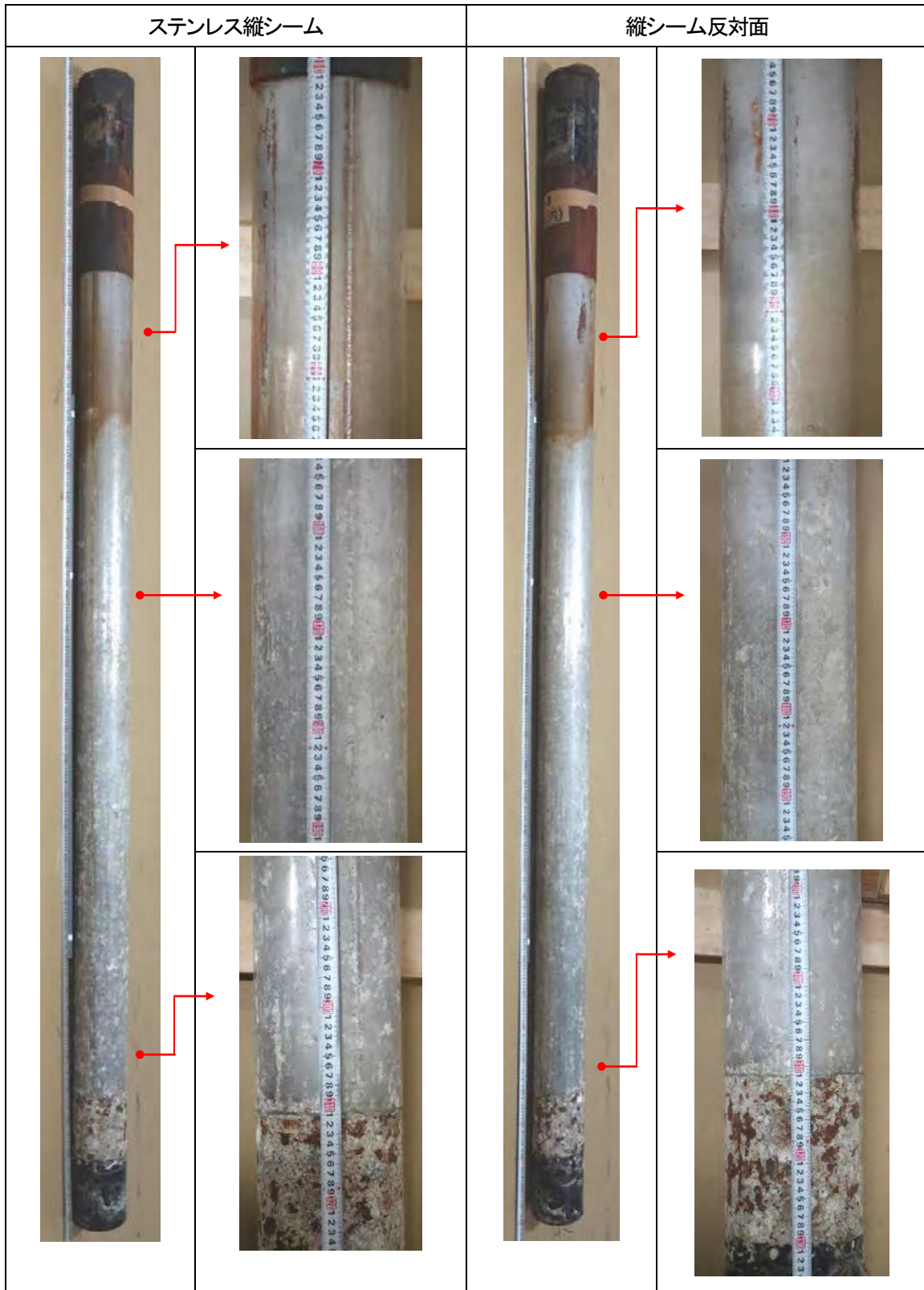


写真-3.38.4 試験材 N-8 の海洋曝露後の外観状況(拡大)

3.3.9 試験材 N-9

3.3.9.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.9.1、外観スケッチを図-3.3.9.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が試験材上端部のウレタン塗装部とステンレス被覆の一部に認められた。また、飛沫帯に設けたスクラッチ傷部は、内部からの錆汁が見られた。その他は補修部も含め、塗膜の剥離や発錆等の異状は認められず健全な状態であった。

海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類が付着している状態であった。

(2)海生生物除去後の外観観察

試験材の外観スケッチを図-3.3.9.2 に、外観状況を写真-3.3.9.2 および写真-3.3.9.3 に示す。

飛沫帯のスクラッチ傷部にステンレス鋼被覆のわずかな浮きが見られた。海生生物が付着した部位のステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、すきま腐食等の局部腐食は無く、健全な状態であることが認められた。また、試験材下端のステンレス鋼被覆が無い部分の鋼材にも腐食は見られず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(2)電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.9.1 に示す。

今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-991~-999mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

なお、2005年調査時から2008年調査時にかけて、140mV程度電位が卑化しているが、これは2007年に施設本体のアルミニウム陽極を更新したためである。従って、2005年から更新時までの電位は-860mVより貴化していた可能性がある。

表-3.3.9.1 試験材 N-9 の電位

(mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-863	-863	-864	-864	-863
2008年	—	-1001	-1003	-1004	-1004	-1003
2011年	-995	-997	-998	-998	-1000	-998
2013年	-998	-996	-997	-999	-991	-996



施設側(西側)



補修部状況



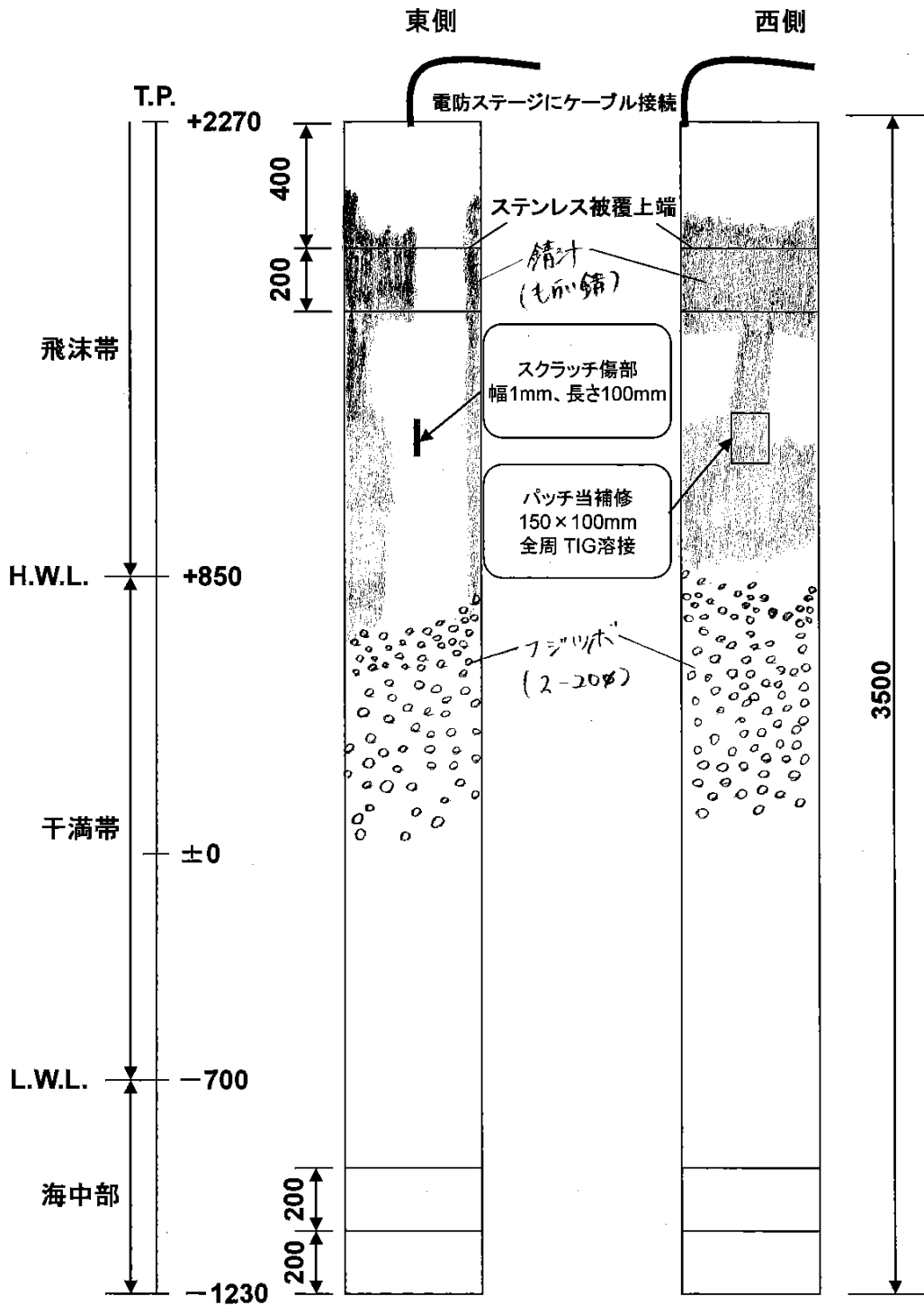
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)+電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.9.1 試験材 N-9 海生生物除去前の外観状況写真

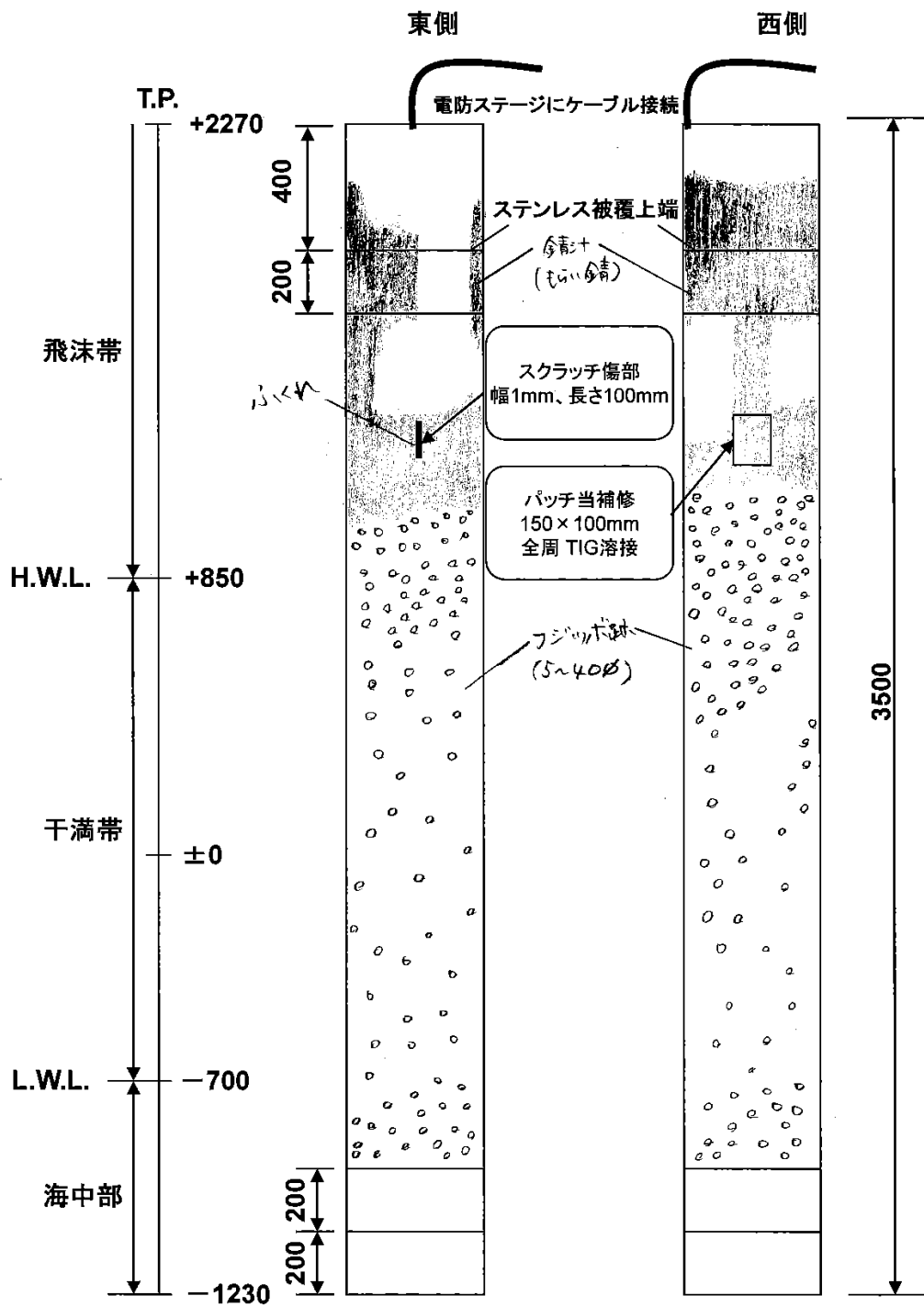


(mm)

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図-3.3.9.1 試験材 N-9 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図-3.3.9.2 試験材 N-9 海生生物除去後の外観図



①補修部(もらい錆による変色はあるが、溶接部とも異状なし)



③高耐食性SUS溶接部に異状は認められない



②高耐食性SUS部にすきま腐食などの局部腐食は認められない



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食
防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)
+電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.9.2 試験材N-9(西面)海生生物除去後の外観状況



①スクラッチ傷部の鋼材に発錆が認められる



③高耐食性SUS溶接部に異状は認められない



②高耐食性SUS部にすきま腐食などの局部腐食は認められない



・位置①のスクラッチ傷部の高耐食性ステンレス鋼被覆に若干浮きが認められる。被覆下で鋼材の腐食が進展したことによるものと考えられる
・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食
防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)
+電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.9.3 試験材N-9(東面)海生生物除去後の外観状況

3.3.9.2 詳細調査

被覆ステンレス鋼外面の腐食状況、飛沫帯に位置したパッチ当て補修部ステンレス鋼の腐食状況および飛沫帯に位置したスクラッチ傷部での炭素鋼素管の腐食状況を観察した。また、スクラッチ傷部における炭素鋼素管の腐食深さについても調査した。

(1) 外観観察

写真-3.3.9.4 に試験材の脱スケール後の外観状況を、写真-3.3.9.5 にスクラッチ傷部の切断後の外観状況を示す。スクラッチ傷部およびその近傍においては、炭素鋼素管が腐食して黄褐色の錆の生成が認められるとともに、被覆ステンレス鋼の内面側にも錆の付着していた。

飛沫帯、干満帯、海中部の被覆ステンレス鋼および飛沫帯に位置したパッチ当て補修部とスクラッチ傷部において、腐食による減肉や孔食は認められなかった。傷部近傍の錆の付着したステンレス鋼内面側においても一切腐食は観察されなかった。一方、飛沫帯のスクラッチ傷部の素管炭素鋼の外面側は、腐食により減肉していた。

(2) スクラッチ傷部の肉厚測定

図-3.3.9.3 に飛沫帯スクラッチ傷部の被覆ステンレスの肉厚測定結果を、図-3.3.9.4 に飛沫帯スクラッチ傷部の素管炭素鋼の肉厚測定結果を示す。

飛沫帯の被覆ステンレス鋼の肉厚は、+10mm ライン位置では最大値 0.85mm で最小値 0.83mm で差 0.02mm と非常に小さく、曝露試験による減肉がほとんど無いことが分かった。一方、飛沫帯の素管炭素鋼の肉厚は、スクラッチ傷の近傍で減少していた。+10mm, 0mm, -10mm ライン位置における肉厚の最大値と最小値の差は、それぞれ 0.29mm, 0.44mm, 0.47mm であった。以上から、飛沫帯においては電気防食が有効でないため、傷部から侵入した海水飛沫により素管外面が腐食し、10年で 0.3~0.5mm、浸食度にして 0.03~0.05mm/y程度の微小な腐食が進行することが判明した。

3.3.9.3 試験材N-9のまとめ

- ・試験材本体の高耐食性2相ステンレス鋼には補修部および傷部を含め全く孔食、隙間腐食等の局部腐食の発生はなく健全であった。
- ・飛沫帯に設けた人工的なスクラッチ傷部からは海水飛沫が侵入し、素管炭素鋼が若干腐食した。浸食度にして 0.03~0.05mm/y程度の軽度の腐食である。これは電気防食の効果が飛沫帯ではきかないためである。一方、傷部近傍においてもステンレス鋼内面側の腐食は皆無であった。

飛沫帯



干満帯



海中部



飛沫帯

パッチ当補修



飛沫帯

スクラッチ傷部



写真-3.3.9.4 試験材N-9の脱スケール後の外観状況

飛沫帯 スクラッチ傷部 被覆ステンレス

外面



内面／脱スケール前



内面／脱スケール後



飛沫帯 スクラッチ傷部 素管炭素鋼

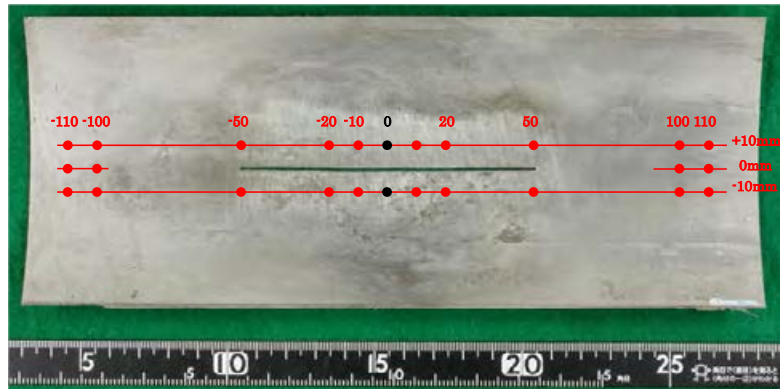
外面／脱スケール前



外面／脱スケール後



写真-3.3.9.5 試験材N-9のスクラッチ傷部の切断後の外観状況



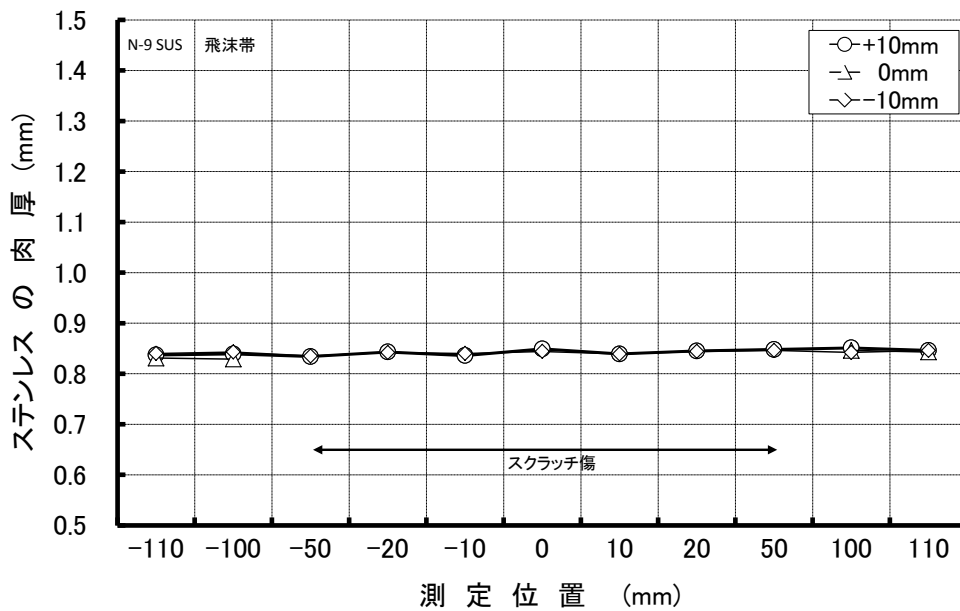
(a) 測定位置

(b) 各部位における肉厚測定結果

単位:mm

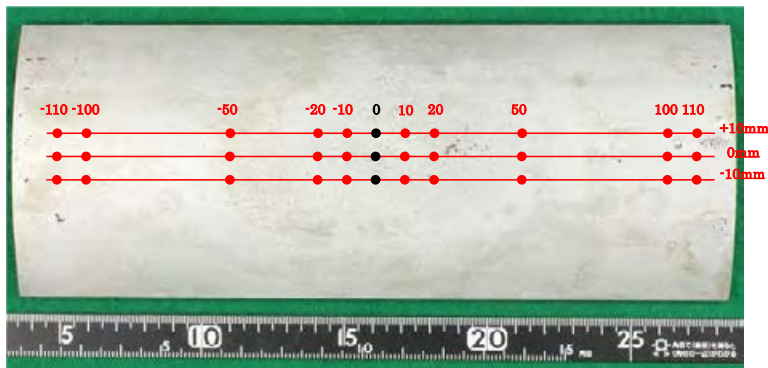
場所	測定位置(mm)											最大値	最小値	差*1
	-110	-100	-50	-20	-10	0	10	20	50	100	110			
+10mm	0.84	0.84	0.83	0.84	0.84	0.85	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.83	0.02
0mm	0.83	0.83	/	/	/	/	/	/	/	0.85	0.84	0.85	0.83	0.02
-10mm	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.84	0.85	0.85	0.84	0.01

* 1: 差=最大値-最小値



(c) 肉厚と測定位置の関係

図-3.3.9.3 試験材N-9の飛沫帯スクラッチ傷部近傍の被覆ステンレスの肉厚測定結果



(a) 測定位置



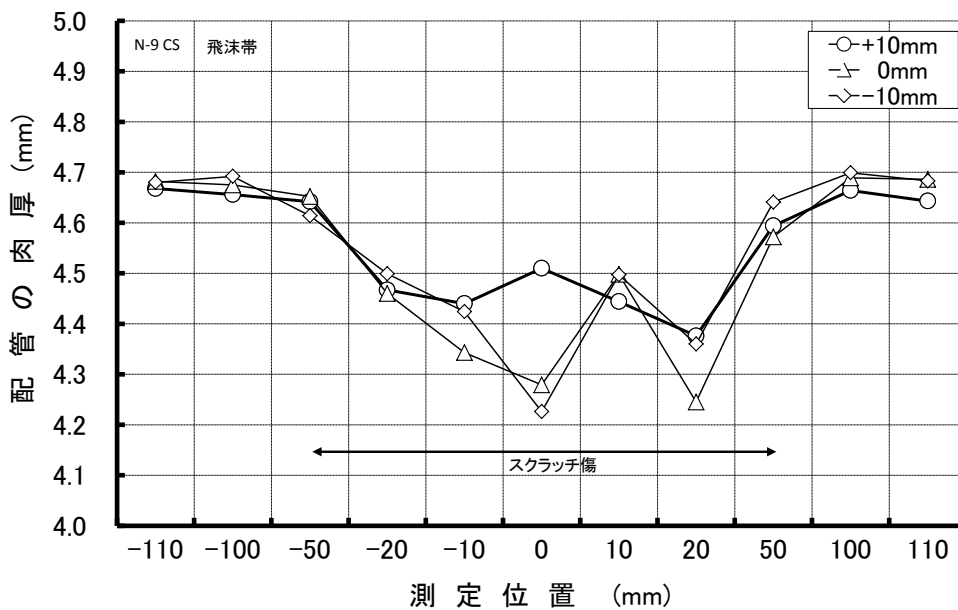
(b) 断面
0mm位置

(c) 各部位における肉厚測定結果

単位: mm

場所	測定位置(mm)											最大値	最小値	差*1
	-110	-100	-50	-20	-10	0	10	20	50	100	110			
+10mm	4.67	4.66	4.64	4.47	4.44	4.51	4.44	4.38	4.59	4.66	4.64	4.67	4.38	0.29
0mm	4.68	4.68	4.65	4.46	4.34	4.28	4.50	4.25	4.57	4.69	4.69	4.69	4.25	0.44
-10mm	4.68	4.69	4.61	4.50	4.42	4.23	4.50	4.36	4.64	4.70	4.68	4.70	4.23	0.47

* 1: 差=最大値-最小値



(d) 肉厚と測定位置の関係

図-3.3.9.4 試験材N-9の飛沫帯スクラッチ傷部の素管炭素鋼の肉厚測定結果

3.3.10 試験材 N-10

3.3.10.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.10.1、外観スケッチを図-3.3.10.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が試験材上端部のウレタン塗装部とステンレス被覆の一部に見られたが、塗膜の剥離や発錆等の異状は認められず健全な状態であった。また、本試験材の T.P.±0 に設けられたパッチ当て補修部およびスクラッチ傷部とも、発錆等の異常は認められず健全であった。カソード防食電流がスリット部にも流入し、その近傍の素管も防食されたと考えられる。

海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類が付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観スケッチを図-3.3.10.2 に、外観状況を写真-3.3.10.2 および写真-3.3.10.3 に示す。

T.P.±0 の位置のスクラッチ傷部内に少量の小型の海生生物の侵入が見られたが、ステンレス鋼被覆の浮き等の異状は無く、健全な状態であることが認められた。また、パッチ当て補修部の補修材および溶接部にも異状は無く、健全な状態であった。その他、ステンレス被覆の一般部および溶接部においても隙間腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

(3) 電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.10.1 に示す。

今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-971~-998mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

なお、2005年調査時から2008年調査時にかけて、140mV程度電位が卑化しているが、これは2007年に施設本体のアルミニウム陽極を更新したためである。従って、2005年から更新時までの電位は-860mVより貴化していた可能性がある。

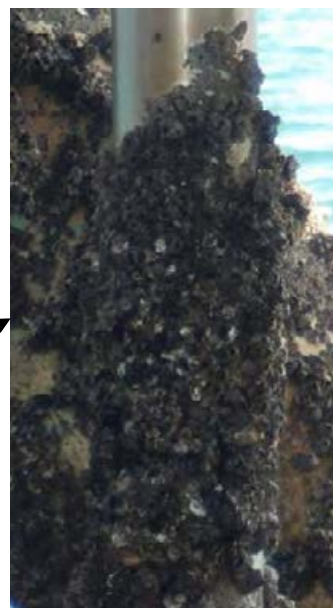
表-3.3.10.1 試験材 N-10 の電位

(mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-863	-863	-864	-865	-863
2008年	—	-1001	-1003	-1007	-1007	-1005
2011年	-997	-997	-998	-1000	-1001	-999
2013年	-988	-971	-996	-998	-996	-989



施設側(北側)



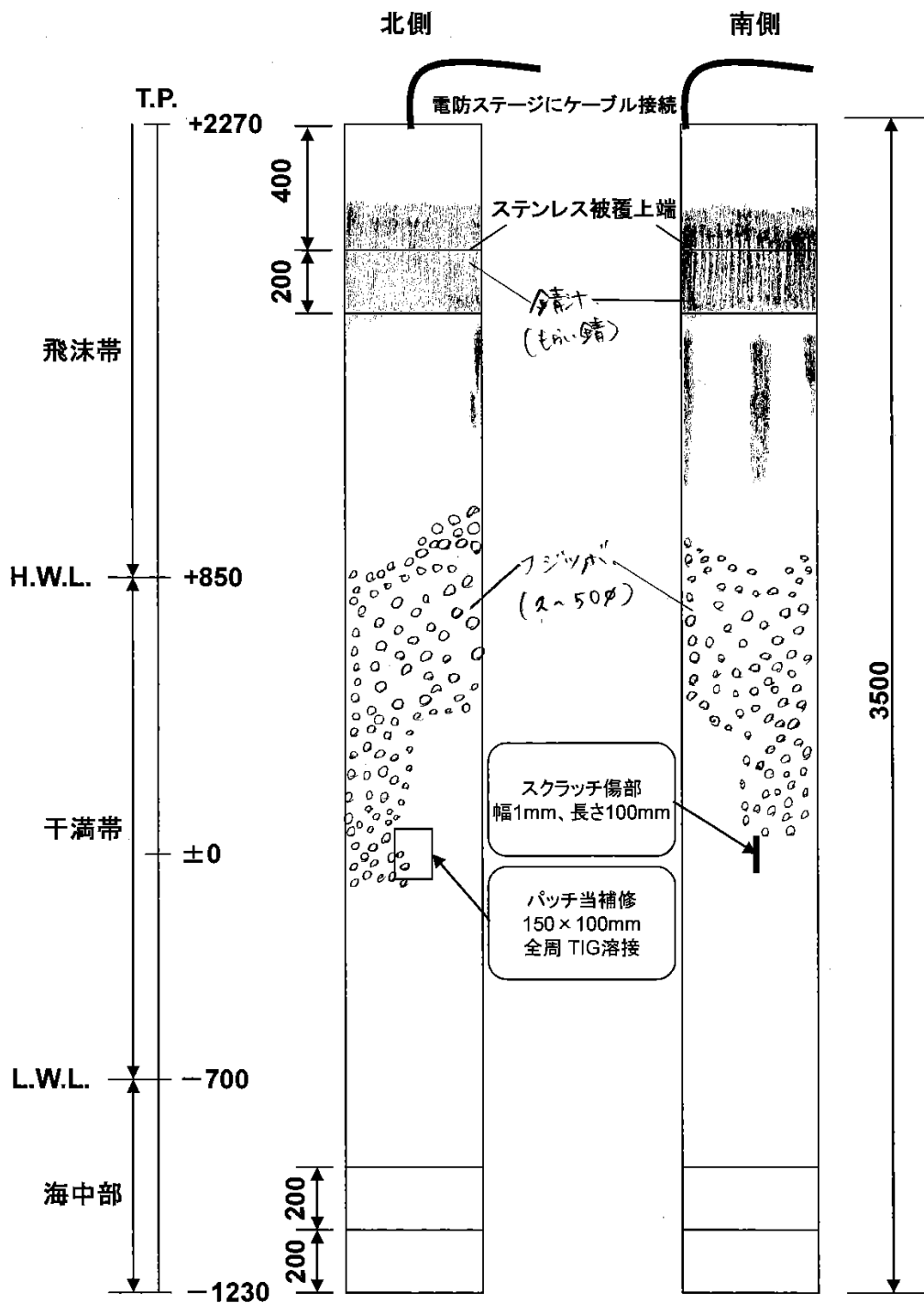
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

写真-3.3.10.1 試験材 N-10 海生生物除去前の外観状況写真

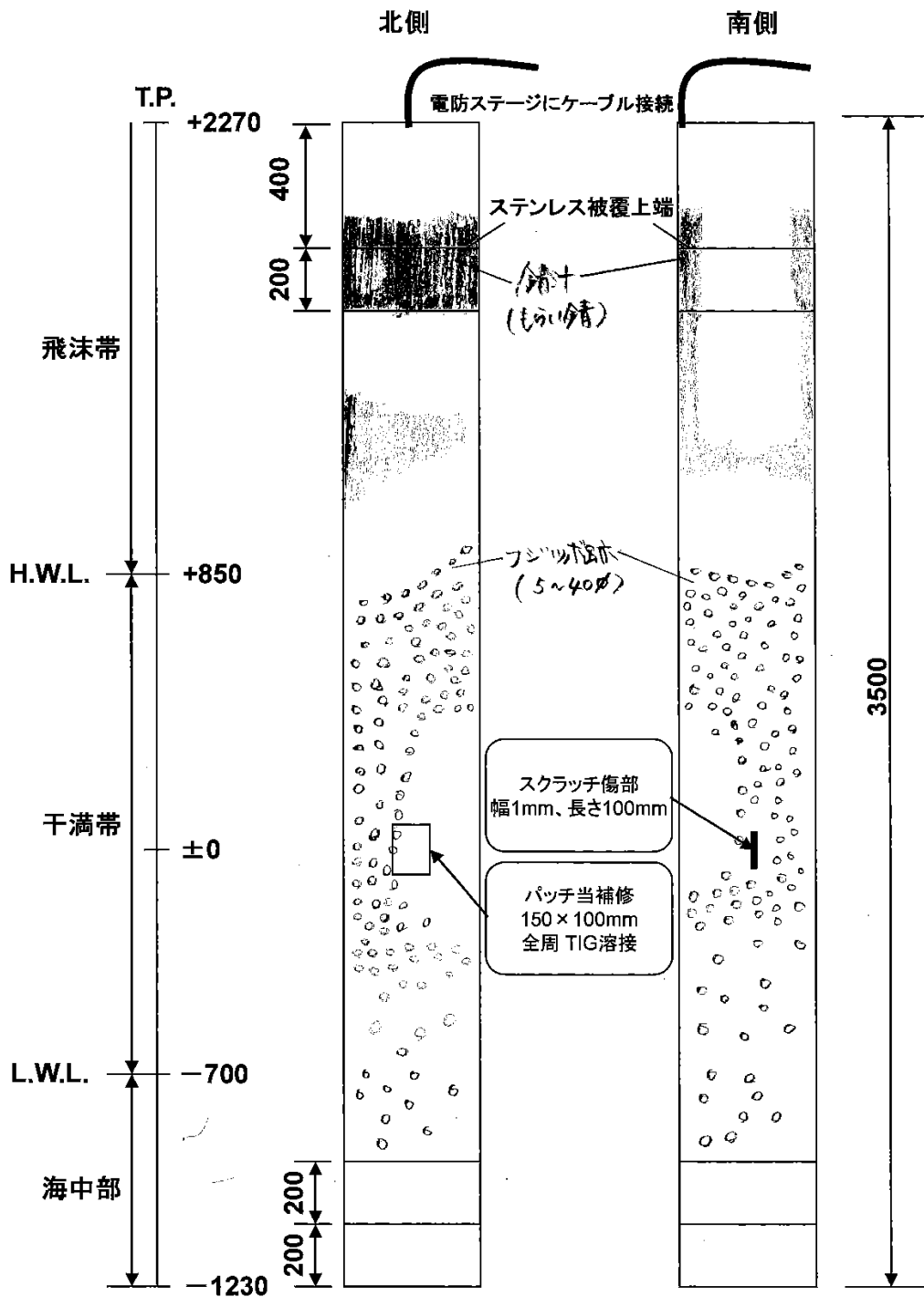


(mm)

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図 3-3.10.1 試験材 N-10 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様: (25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N) + 電気防食(施設本体とケーブル接続)

図-3.3.10.2 試験材 N-10 海生生物除去後の外観図



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③高耐食性SUS溶接部に異状は認められない



②補修部(一般部、溶接部とも異状なし)



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)+電気防食(施設本体+ケーブル接続)

写真-3.3.10.2 試験材N-10(北面)海生生物除去後の外観状況



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③高耐食性SUS溶接部に異状は認められない



②スクラッチ傷部の鋼材に腐食は認められず、異状はない



・干満帯に位置するスクラッチ傷部の鋼材に腐食が生じていない要因は電気防食効果がスクラッチ傷部に及んでいるためである

・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物付着下の部分においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:ウレタン塗装+高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(25Cr-7Ni-3Mo-Cu-W-N)

+電気防食(施設本体+ケーブル接続)

写真-3.3.10.3 試験材N-10(南面)海生生物除去後の外観状況

3.3.10.2 詳細調査

被覆ステンレス鋼外面の腐食状況、干満帯に位置したパッチ当て補修部ステンレス鋼の腐食状況および飛沫帯に位置したスクラッチ傷部での炭素鋼素管の腐食状況を観察した。また、スクラッチ傷部における炭素鋼素管の腐食深さについても調査した。

(1) 外観観察

写真-3.3.10.4 に試験材の脱スケール後の外観状況を、写真-3.3.10.5 にスクラッチ傷部の切断後の外観状況を示す。

飛沫帯、干満帯、海中部の被覆ステンレスおよび飛沫帯に位置したパッチ当て補修部とスクラッチ傷部において、腐食による減肉や孔食は認められなかった。傷部近傍の錆の付着したステンレス鋼内面側においても一切腐食は観察されなかった。一方、干満帯のスクラッチ傷部の素管炭素鋼の外側にも、腐食による目立った減肉は認められなかった。

(2) 肉厚測定

図-3.3.10.3 に干満帯スクラッチ傷部の被覆ステンレスの肉厚測定結果を、図-3.3.10.4 に干満帯スクラッチ傷部の素管炭素鋼の肉厚測定結果を示す。

干満帯の被覆ステンレス鋼の肉厚は、+10mm ライン位置では最大値 0.86mm で最小値 0.83mm で差 0.03mm と非常に小さく、曝露試験による減肉がほとんど無いことが分かった。一方、干満帯の素管炭素鋼の肉厚は、スクラッチ傷の近傍でわずかに減少していた。+10mm, 0mm, -10mm ライン位置における肉厚の最大値と最小値の差は、それぞれ 0.08mm, 0.05mm, 0.08mm であった。このように、腐食による減肉量(最大値と最小値の差)は、飛沫帯の 0.29~0.47mm に比べて小さな値を示していることから、干満帯での腐食は飛沫帯に比べて小さいといえる。この原因として、干満帯では電気防食がかなり有効に作用していたものと考えられる。

3.3.10.3 試験材N-10のまとめ

- ・試験材本体の高耐食性2相ステンレス鋼には補修部および傷部を含め全く孔食、隙間腐食等の局部腐食の発生はなく健全であった。
- ・干満帯に設けた人工的なスクラッチ傷部からは海水飛沫が侵入し、素管炭素鋼が若干腐食するものの、飛沫帯に比較して腐食深さは一桁小さく10年で0.05~0.08mm程度であり軽微である。これは干満帯では飛沫帯に比較して電気防食の効果が有効に発揮されたといえる。一方、傷部近傍においてもステンレス鋼内面側の腐食は皆無であった。

飛沫帯



干満帯



海中部



干満帯
パッチ当補修



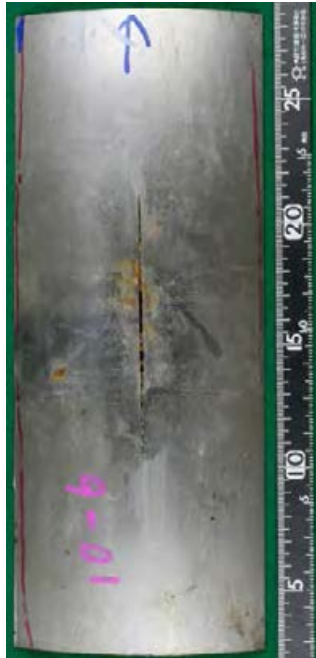
干満帯
スクラッチ傷部



写真-3.3.10.4 試験材N-10の脱スケール後の外観状況

干満帯 スクラッチ傷部 被覆ステンレス

外面



内面/脱スケール前



内面/脱スケール後



干満帯 スクラッチ傷部 素管炭素鋼

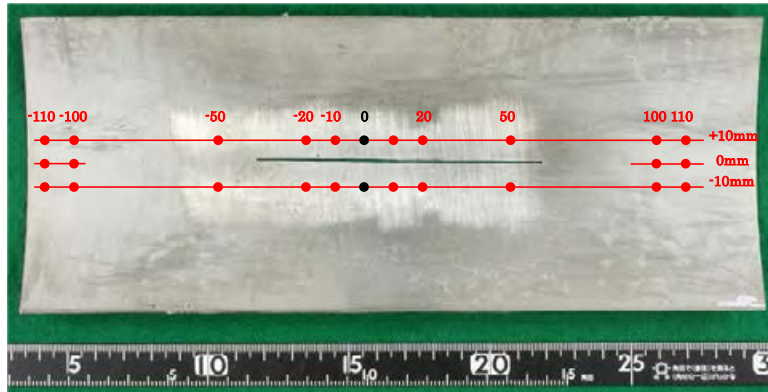
外面/脱スケール前



外面/脱スケール後



写真-3.3.10.5 試験材N-10のスクラッチ傷部の切断後の外観状況



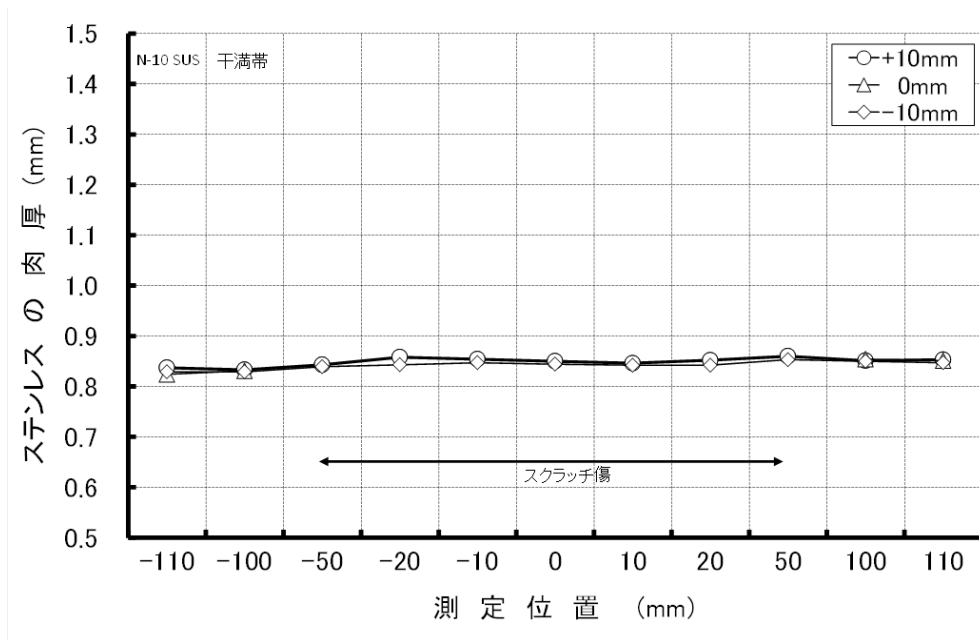
(a) 測定位置

(b) 各部位における肉厚測定結果

単位:mm

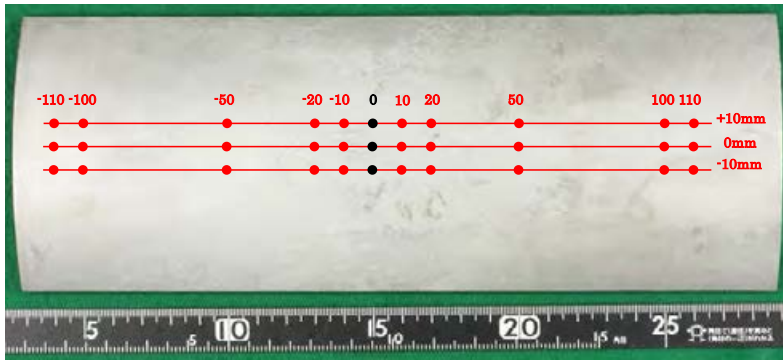
場所	測定位置(mm)											最大値	最小値	差 ^{*1}
	-110	-100	-50	-20	-10	0	10	20	50	100	110			
+10mm	0.84	0.83	0.84	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.86	0.83	0.03
0mm	0.82	0.83	/	/	/	/	/	/	/	0.85	0.85	0.85	0.82	0.03
-10mm	0.83	0.83	0.84	0.84	0.85	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.85	0.85	0.83	0.02

* 1: 差=最大値-最小値



(c) 肉厚と測定位置の関係

図-3.3.10.3 試験材N-10の干満帯スクラッチ傷部の被覆ステンレスの肉厚測定結果



(a) 測定位置



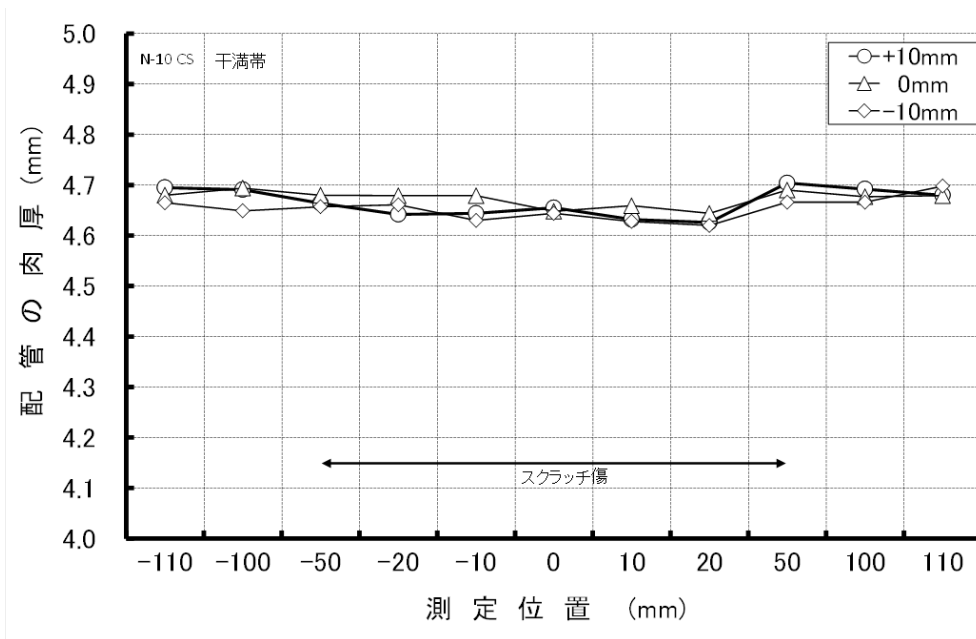
(b) 断面
0mm 位置

(c) 各部位における肉厚測定結果

単位:mm

場所	測定位置(mm)											最大値	最小値	差*1
	-110	-100	-50	-20	-10	0	10	20	50	100	110			
+10mm	4.70	4.69	4.66	4.64	4.64	4.66	4.63	4.63	4.70	4.69	4.68	4.70	4.63	0.08
0mm	4.68	4.69	4.68	4.68	4.68	4.65	4.66	4.64	4.69	4.68	4.68	4.69	4.64	0.05
-10mm	4.67	4.65	4.66	4.66	4.63	4.64	4.63	4.62	4.67	4.67	4.70	4.70	4.62	0.08

* 1: 差=最大値-最小値



(d) 肉厚と測定位置の関係

図-3. 3. 10. 4 試験材N-10の干満帯スクラッチ傷部の素管炭素鋼の肉厚測定結果

3.3.11 試験材 N-11

3.3.11.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.11.1、外観スケッチを図-3.3.11.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が飛沫帯に見られた。また、飛沫帯の人工すきま部と溶接部周囲の赤褐色部分が大きくなっていたが、前回の結果を考慮すると、これも上部からのもらい錆と思われる。その他には異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯の人工すきま部形成用 PE チューブから干満帯上部にかけて多量のフジツボ類が付着していたが、干満帯中部以深では比較的脱落しており、ステンレス鋼被覆露出部分が多くなっていた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.11.2 および写真-3.3.11.3、外観スケッチを図-3.3.11.2 に示す。

T.P.+1240 および T.P.+240 の位置の人工すきま部には、海生生物の PE チューブ下への侵入・成長による浮き等の損傷は見られず、異状は認められなかった。また、ステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、すきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。その他、試験材下端部のステンレス鋼被覆の無い部位の鋼材にも腐食の発生は見られず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(3) 電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.11.1 に示す。

今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1033~-1058mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.11.1 試験材 N-11 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1065	-1065	-1067	-1067	-1066
2008年	—	-1072	-1074	-1080	-1082	-1077
2011年	-1049	-1053	-1049	-1055	-1050	-1051
2013年	-1049	-1033	-1058	-1057	-1056	-1050

(4) アルミニウム合金陽極の消耗量

試験材のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表-3.3.11.2 に、外観状況を写真-3.3.11.4 に示す。

表-3.3.11.2 試験材 N-11 のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果

		陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)			(kg/y)
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
2013年	南	29	137	135	1.66	0.73	0.93	0.093
	北	33	141	143				

3.3.11.2 詳細調査

(1) 人工すきま部の状況

T.P.+1240 及び T.P.+240 の 2 箇所に取り付けた PE 熱収縮チューブ製人工すきま(幅 50mm)を取り外した状況を写真-3.3.11.5 に示す。

何れのすきま部においてもステンレス鋼被覆材にはすきま腐食の発生は認められなかった。

(2) 素管の板厚測定

試験開始前に T.P.+2000、T.P.+1000、T.P.±0、T.P.-1000 の位置(それぞれ南、北)の素管の板厚を超音波厚さ計により測定したが、ステンレス鋼で被覆していない T.P.-1000 を除く部分の被覆材を約 60mm×60mm 切り取って素管を露出させ、超音波厚さ計で板厚を測定した結果を表-3.3.11.3 に示す。

何れの箇所も試験前とほぼ同じ板厚であり、減肉は認められなかった。

表-3.3.11.3 試験材 N-11 の素管の板厚測定結果

レベル	T.P.+2000		T.P.+1000		T.P.±0		T.P.-1000	
	北	南	北	南	北	南	北	南
板厚(mm)	4.68	4.65	4.68	4.65	4.66	4.64	4.66	4.66
元厚(mm)	4.67	4.68	4.67	4.68	4.67	4.68	4.67	4.68

注 1) 超音波厚さ計により測定

(3) ステンレス鋼被覆材の板厚測定

(2)において切り出したステンレス鋼被覆材の板厚測定結果を表-3.3.11.4 に示す。

何れの箇所も試験前と同じ板厚であり、減肉は認められなかった。

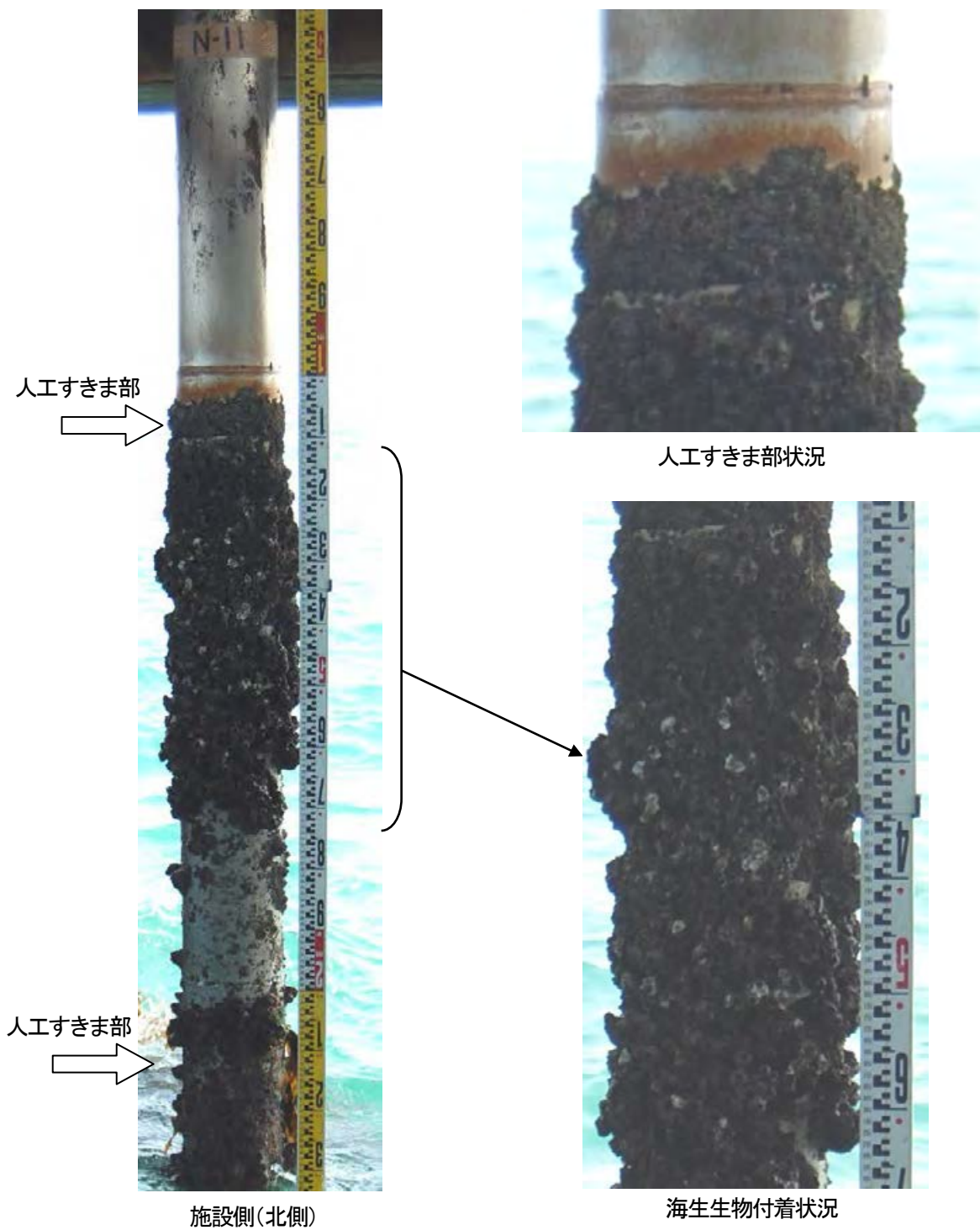
表-3.3.11.4 試験材 N-11 のステンレス鋼被覆材の板厚測定結果

レベル	T.P.+2000		T.P.+1000		T.P.±0	
	北	南	北	南	北	南
板厚(mm)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
元厚(mm)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47

3.3.11.3 まとめ

N-11 試験材(23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N ステンレス被覆)の現地調査及び詳細調査から、以下の結果が得られた。

- 飛沫帯は上部からのもらい錆による変色が見られたが、それ以外はステンレス被覆の一般部及び溶接部を含めすきま腐食等の局部腐食は認められず、健全な状態であった。
- 干満部及び海中部の付着海生生物の下、あるいは人工的に設置したすきま部の下においても、ステンレス被覆の一般部及び溶接部を含めすきま腐食等の局部腐食は認められず、健全な状態であった。
- 素管及びステンレス被覆材の板厚は試験開始前と同じであり、減肉は認められなかった。

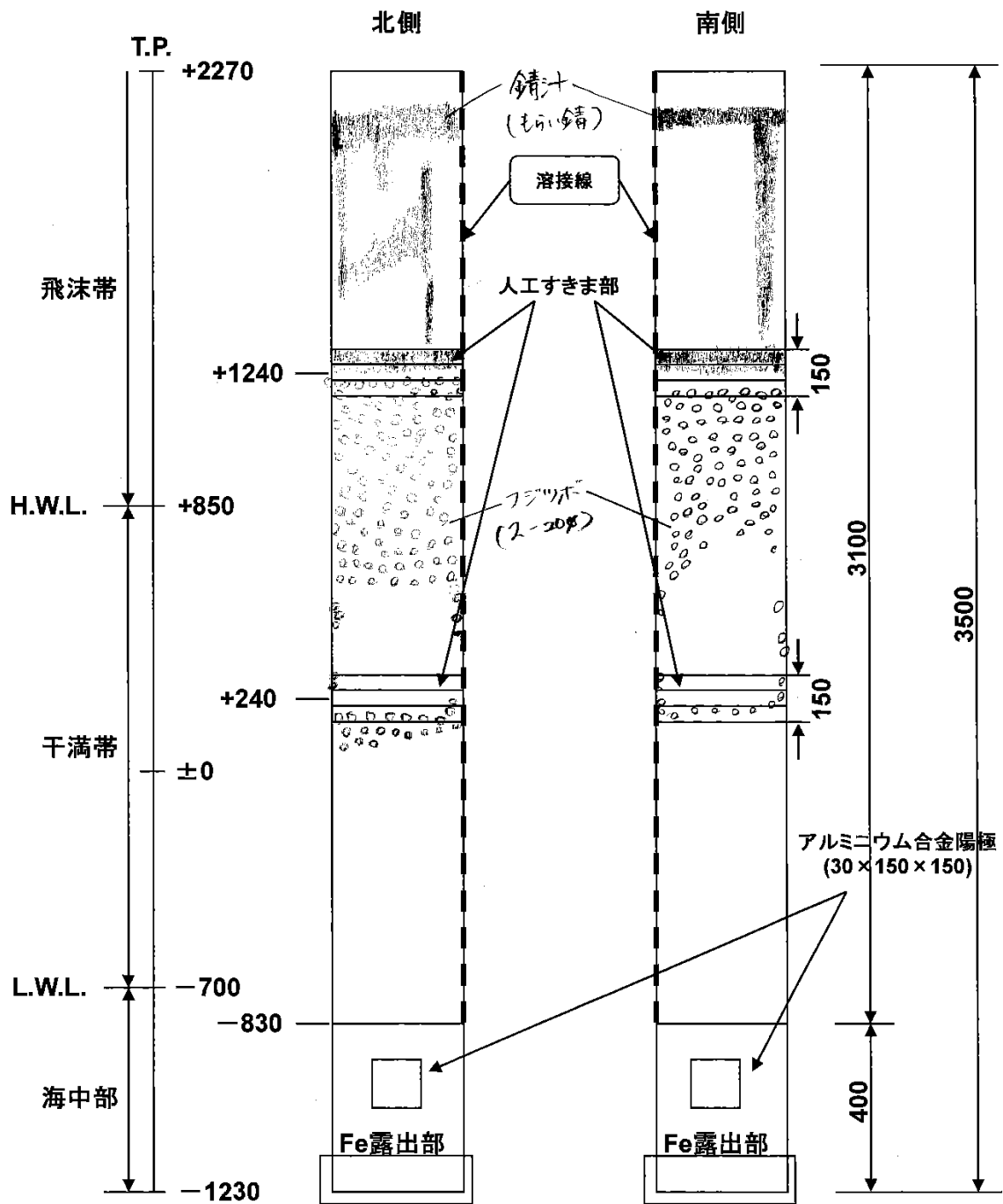


新規暴露試験材

防食系: 高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様: (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.11.1 試験材 N-11 海生生物除去前の外観状況写真



(mm)

防食系: 高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様: (23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N) + アルミニウム合金陽極

図-3.3.11.1 試験材 N-11 海生生物除去前の外観図



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②人工すきま部(異状なし)



③人工すきま部(異状なし)



④アルミニウム合金陽極の消耗状況



新規試験材
 防食系：高耐食性ステンレス鋼被覆＋電気防食
 防食仕様：(23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)
 ＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.11.2 試験材 N-11(北面)海生物除去後の外観状況



試験材上端部

①

②

③

④ 試験材下端部

①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②人工すきま部(異状なし)



③人工すきま部(異状なし)



④アルミニウム合金陽極の消耗状況



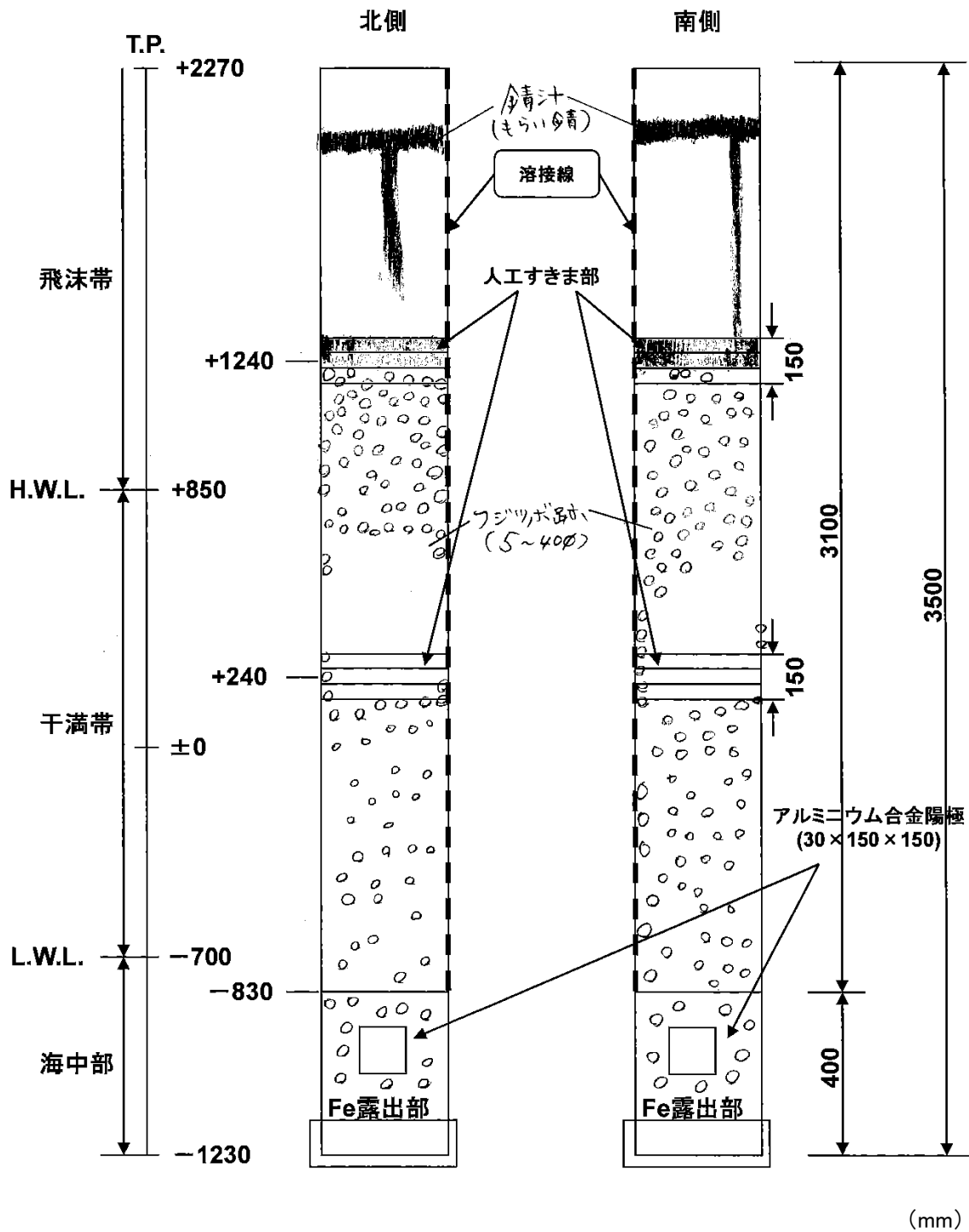
・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物附着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず異状はない。

新規試験材

防食系:高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.11.3 試験材 N-11(南面)海生生物除去後の外観状況



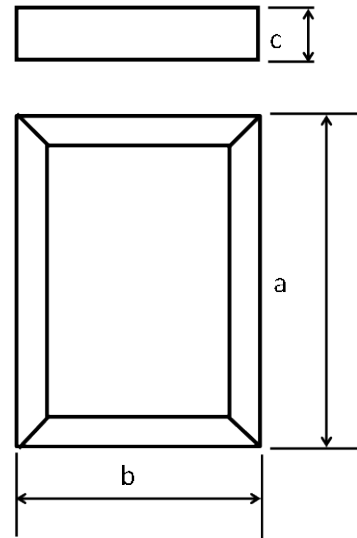
防食系:高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様:(23Cr-25Ni-5.5Mo-0.2N)+アルミニウム合金陽極

図-3.3.11.2 試験材 N-11 海生生物除去後の外観図



写真-3.3.11.4 試験材 N-11 の陽極の外観状況



陽極寸法測定位置

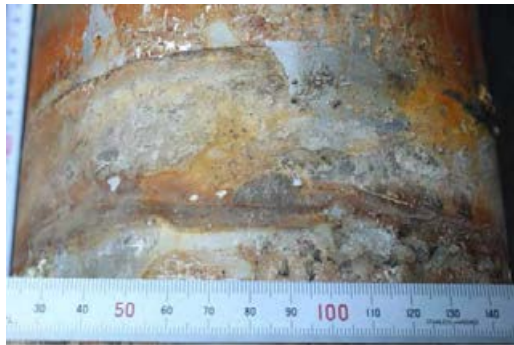
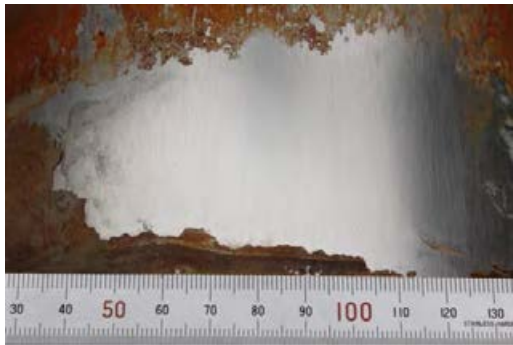






	人工すきま取り外し後	付着物除去後
上部すきま 北側		
上部すきま 南側		
下部すきま 北側		
下部すきま 南側		

写真-3.3.11.5 試験材 N-11 の人工すきま部の外観状況

3.3.12 試験材 N-12

3.3.12.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.12.1、外観スケッチを図-3.3.12.1 に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色(茶褐色)が飛沫帯に見られた。また、飛沫帯の人工すきま部と溶接部との間の赤褐色部が濃くなっていたが、前回の結果を考慮すると、これも上部からのもらい錆である可能性が大きい。その他には異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯の人工すきま部形成用 PE チューブから干満帯にかけて多量のフジツボ類が付着している状態であった。

(2)海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.12.2 および写真-3.3.12.3、外観スケッチを図-3.3.12.2 に示す。

T.P.+1240 および T.P.+240 の位置の人工すきま部には、海生生物の PE チューブ下への侵入・成長による浮き等の損傷は見られず、異状は認められなかった。また、ステンレス鋼被覆の一般部および溶接部には、すきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。その他、試験材下端部のステンレス鋼被覆の無い部位の鋼材にも腐食の発生は見られず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(3)電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.12.1 に示す。

今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1018~-1047mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.12.1 試験材 N-12 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1068	-1072	-1071	-1072	-1070
2008年	—	-1085	-1081	-1080	-1083	-1082
2011年	-1049	-1055	-1057	-1056	-1063	-1056
2013年	-1018	-1025	-1045	-1047	-1042	-1035

(4)アルミニウム合金陽極の消耗量

試験材のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表 3.3.12.2、外観状況を写真 3.3.12.4 に示す。

表-3.3.12.2 試験材 N-12 のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果

		陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)			(kg/y)
		厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
2013年	南	32	145	146	1.66	1.02	0.64	0.064
	北	31	148	149				

3.3.12.2 詳細調査

(1) 人工すきま部の状況

T.P.+1240 及び T.P.+240 の 2 箇所に取り付けた PE 熱収縮チューブ製人工すきま(幅 50mm)を取り外した状況を写真-3.3.12.5 に示す。

何れのすきま部においてもステンレス鋼被覆材にはすきま腐食の発生は認められなかった。

(2) 素管の板厚測定

試験開始前に T.P.+2000、T.P.+1000、T.P.±0、T.P.-1000 の位置(それぞれ南、北)の素管の板厚を超音波厚さ計により測定したが、ステンレス鋼で被覆していない T.P.-1000 を除く部分の被覆材を約 60mm×60mm 切り取って素管を露出させ、超音波厚さ計で板厚を測定した結果を表-3.3.12.3 に示す。

何れの箇所も試験前とほぼ同じ板厚であり、減肉は認められなかった。

表-3.3.12.3 試験材 N-12 の素管の板厚測定結果

レベル	T.P.+2000		T.P.+1000		T.P.±0		T.P.-1000	
	北	南	北	南	北	南	北	南
板厚(mm)	4.66	4.68	4.66	4.66	4.65	4.66	4.66	4.66
元厚(mm)	4.64	4.66	4.64	4.66	4.64	4.66	4.64	4.66

注 1) 超音波厚さ計により測定

(3) ステンレス鋼被覆材の板厚測定

(2)において切り出したステンレス鋼被覆材の板厚測定結果を表 3.3.12.4 に示す。

何れの箇所も試験前と同じ板厚であり、減肉は認められなかった。

表-3.3.12.4 試験材 N-12 のステンレス鋼被覆材の板厚測定結果

レベル	T.P.+2000		T.P.+1000		T.P.±0	
	北	南	北	南	北	南
板厚(mm)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
元厚(mm)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

3.3.12.3 まとめ

N-12 試験材(20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N ステンレス被覆)の現地調査及び詳細調査から、以下の結果が得られた。

- 飛沫帯は上部からのもらい錆による変色が見られたが、それ以外はステンレス被覆の一般部及び溶接部を含めすきま腐食等の局部腐食は認められず、健全な状態であった。
- 干満部及び海中部の付着海生生物の下、あるいは人工的に設置したすきま部の下においても、ステンレス被覆の一般部及び溶接部を含めすきま腐食等の局部腐食は認められず、健全な状態であった。
- 素管及びステンレス被覆材の板厚は試験開始前と同じであり、減肉は認められなかった。



施設側(北側)



もらい錆状況



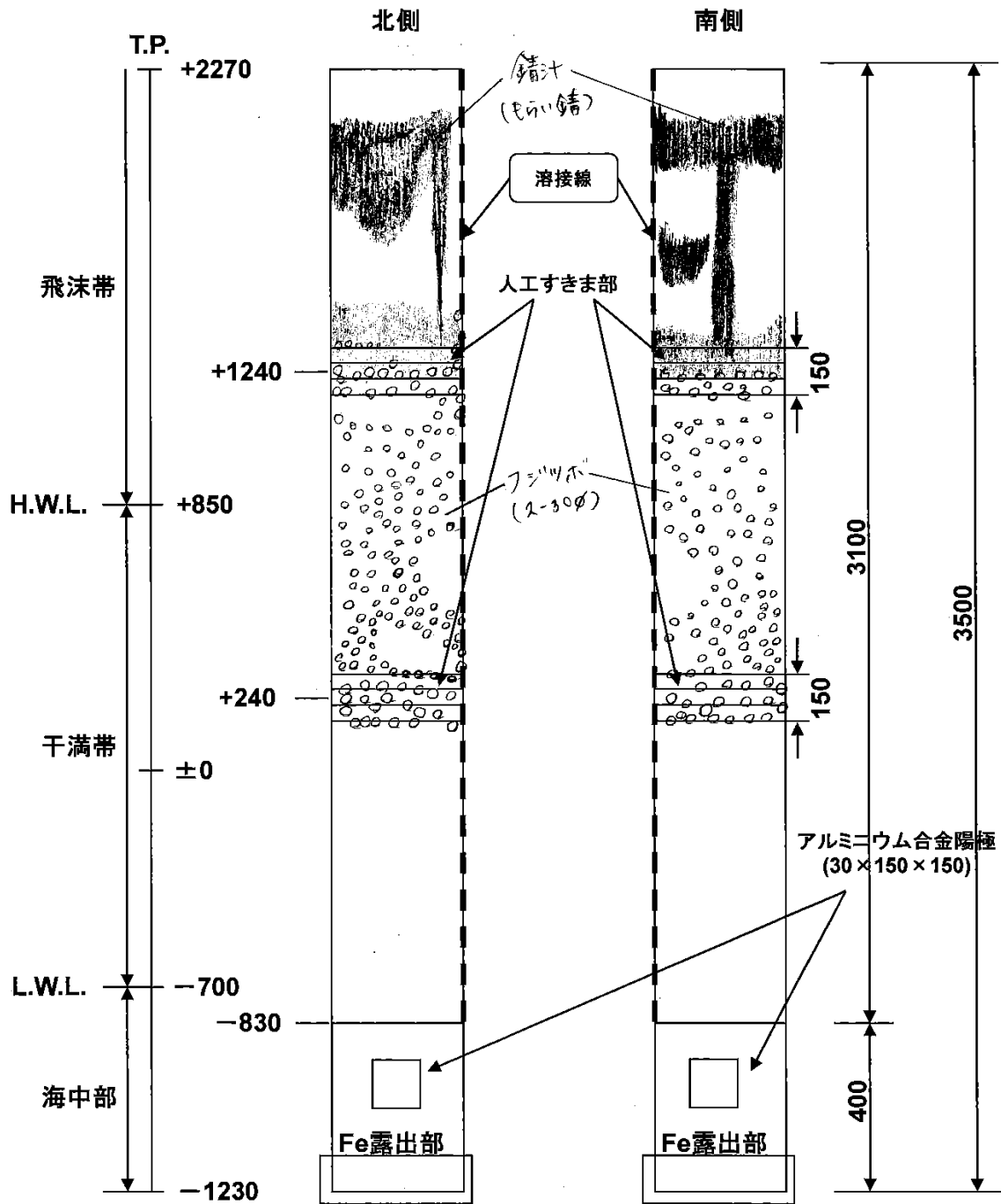
人工すきま部状況

新規暴露試験材

防食系: 高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.12.1 試験材 N-12 海生生物除去前の外観状況写真

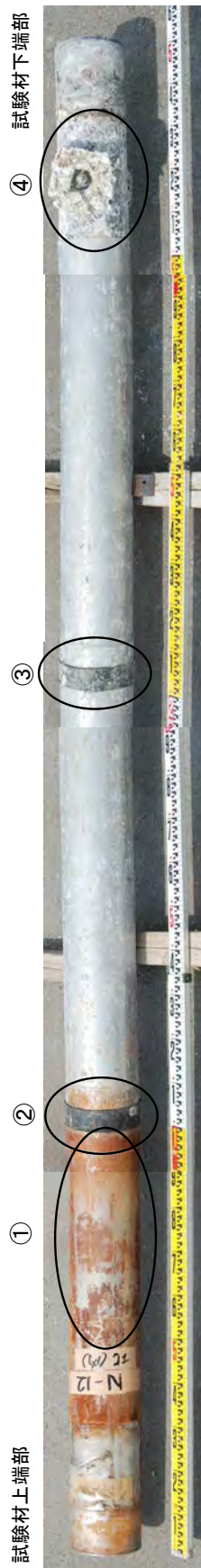


(mm)

防食系: 高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

図-3.3.12.1 試験材 N-12 海生生物除去前の外観



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②人工すきま部(異状なし)



③人工すきま部(異状なし)



④アルミニウム合金陽極の消耗状況



・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系: 高耐食性ステンレス鋼被覆 + 電気防食

防食仕様: (20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N) + アルミニウム合金陽極

写真-3.3.12.2 試験材 N-12(北面)海生物除去後の外觀状況



試験材上端部

①

②

③

④

試験材下端部

①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



②人工すきま部(異状なし)



③人工すきま部(異状なし)



④アルミニウム合金陽極の消耗状況



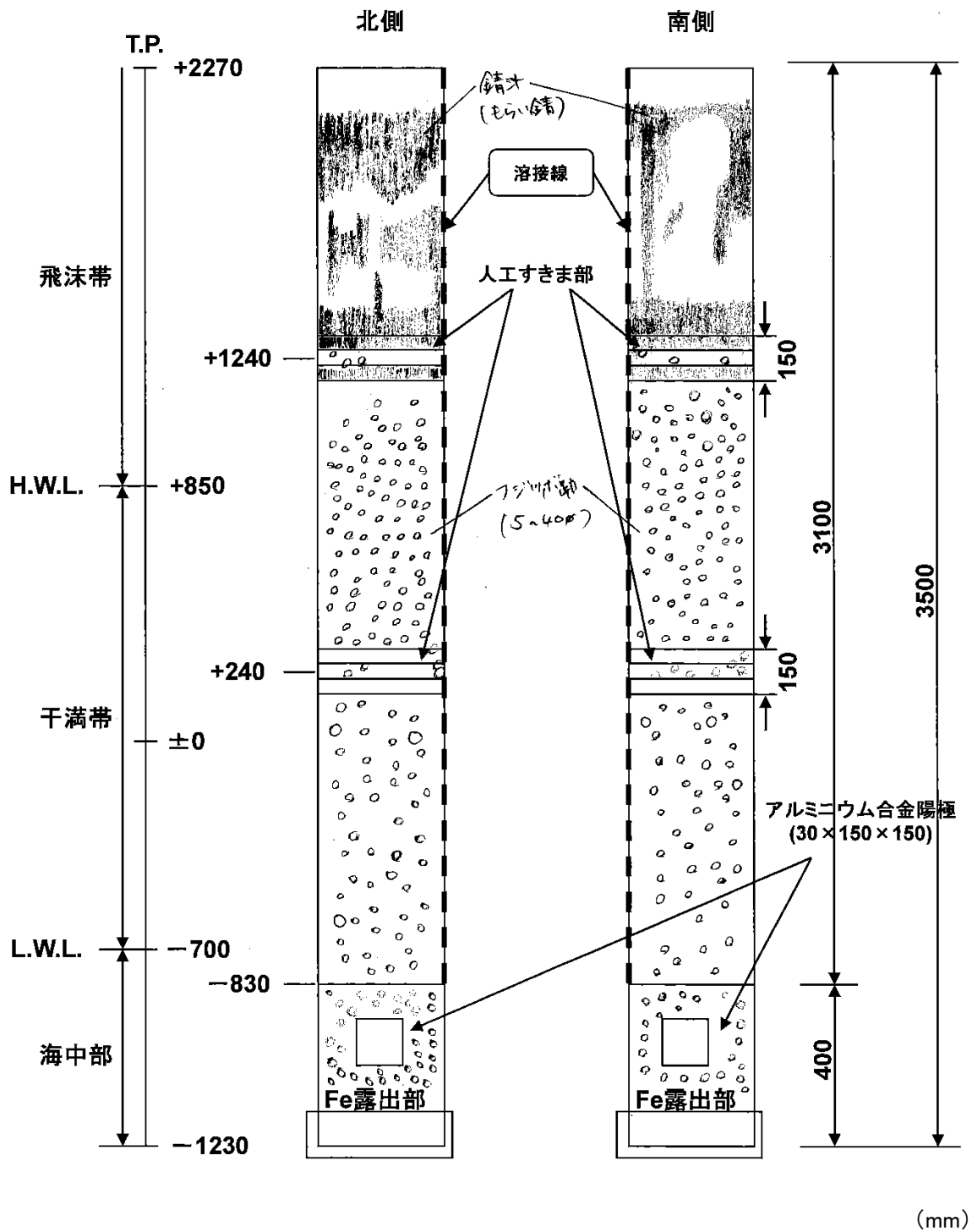
・高耐食性SUSの一般部および溶接部には、海生生物附着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系:高耐食性ステンレス鋼被覆+電気防食

防食仕様:(20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.12.3 試験材 N-12(南面)海生生物除去後の外観状況



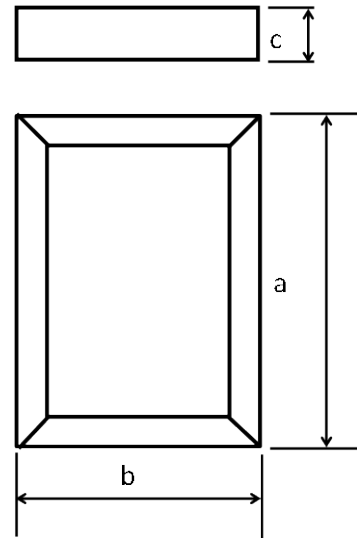
防食系:高耐食性ステンレス被覆+電気防食

防食仕様:(20Cr-18Ni-6Mo-0.8Cu-0.2N)+アルミニウム合金陽極

図-3.3.12.2 試験材 N-12 海生生物除去後の外観図



写真-3.3.12.4 試験材 N-12 の陽極の外観状況



陽極寸法測定位置







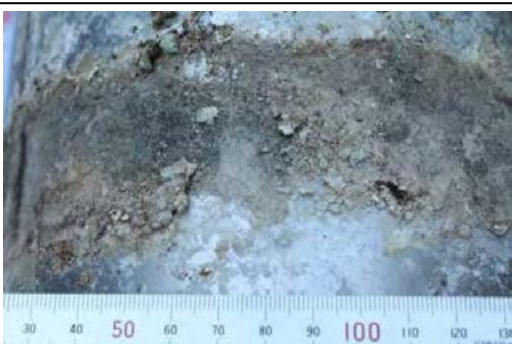

	人工すきま取り外し後	付着物除去後
上部すきま 北側		
上部すきま 南側		
下部すきま 北側		
下部すきま 南側		

写真-3.3.12.5 試験材 N-12 の人工すきま部の外観状況

3.3.13 試験材 N-13 (新規暴露材)

3.3.13.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.13.1、外観スケッチを図-3.3.13.1に示す。

飛沫帯はほぼ全域に試験材上部からのもらい錆による変色（茶褐色）が見られたが、その他には異常は認められなかった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類およびイガイが付着している状態であった。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.13.2、写真-3.3.13.3 および写真-3.3.13.4、外観スケッチを図-3.3.13.2に示す。

ステンレス鋼の一般部および溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食等の局部腐食は見られず、健全な状態であることが認められた。しかし、試験材と施設本体を電気的に絶縁するために取り付けられた絶縁パッキン（ゴム製）下で、すきま腐食の発生が認められた。実際の使用においてはこの様に固定することはなく、海生生物付着下においてもすきま腐食は認められなかったことからイレギュラーケースと考えられる。



施設側(南側)



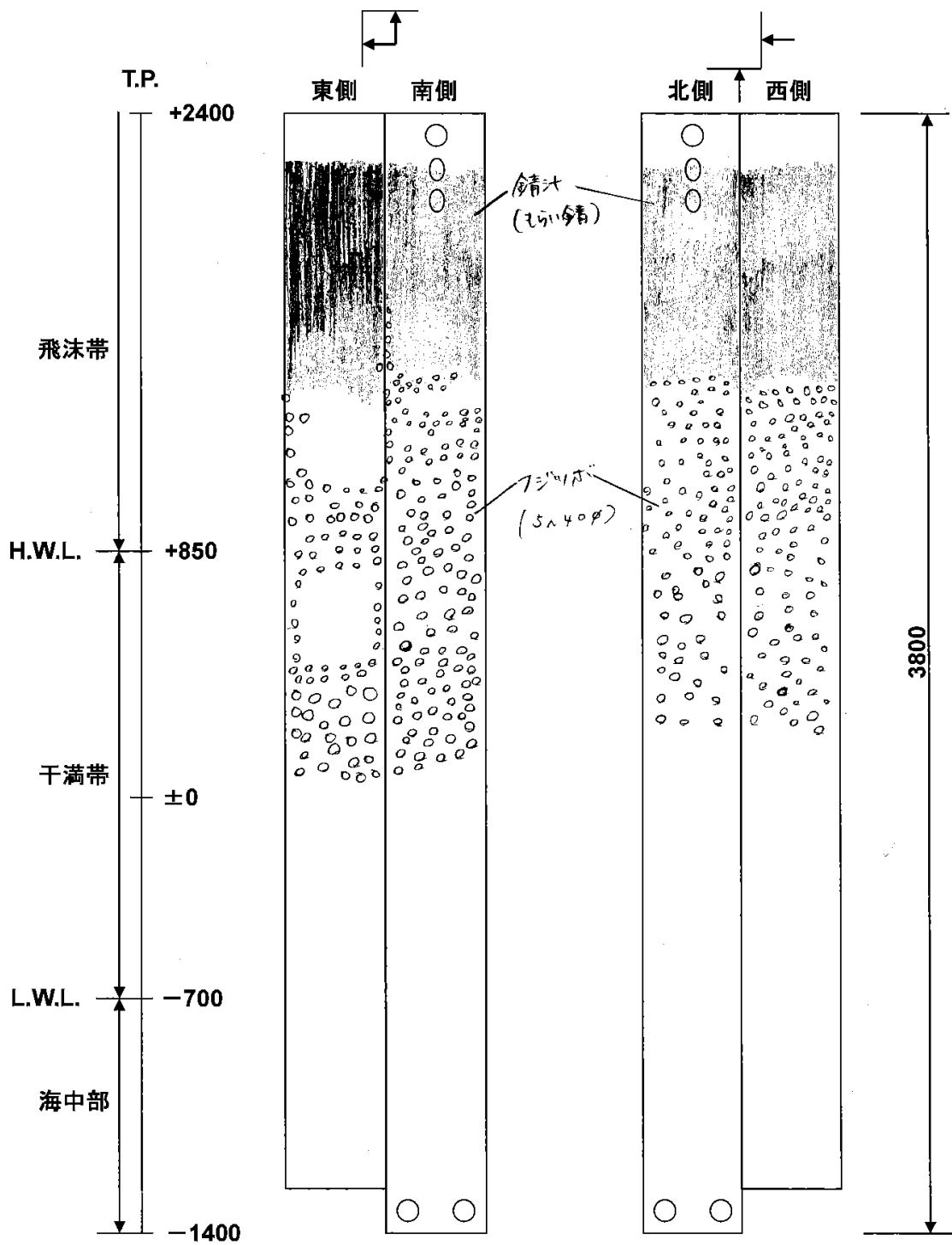
海生生物附着状況

新規暴露試験材

防食系：高耐食性ステンレス鋼

防食仕様：高耐食性ステンレス鋼 (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)

写真-3.3.13.1 試験材N-13 海生生物除去前の外観状況写真

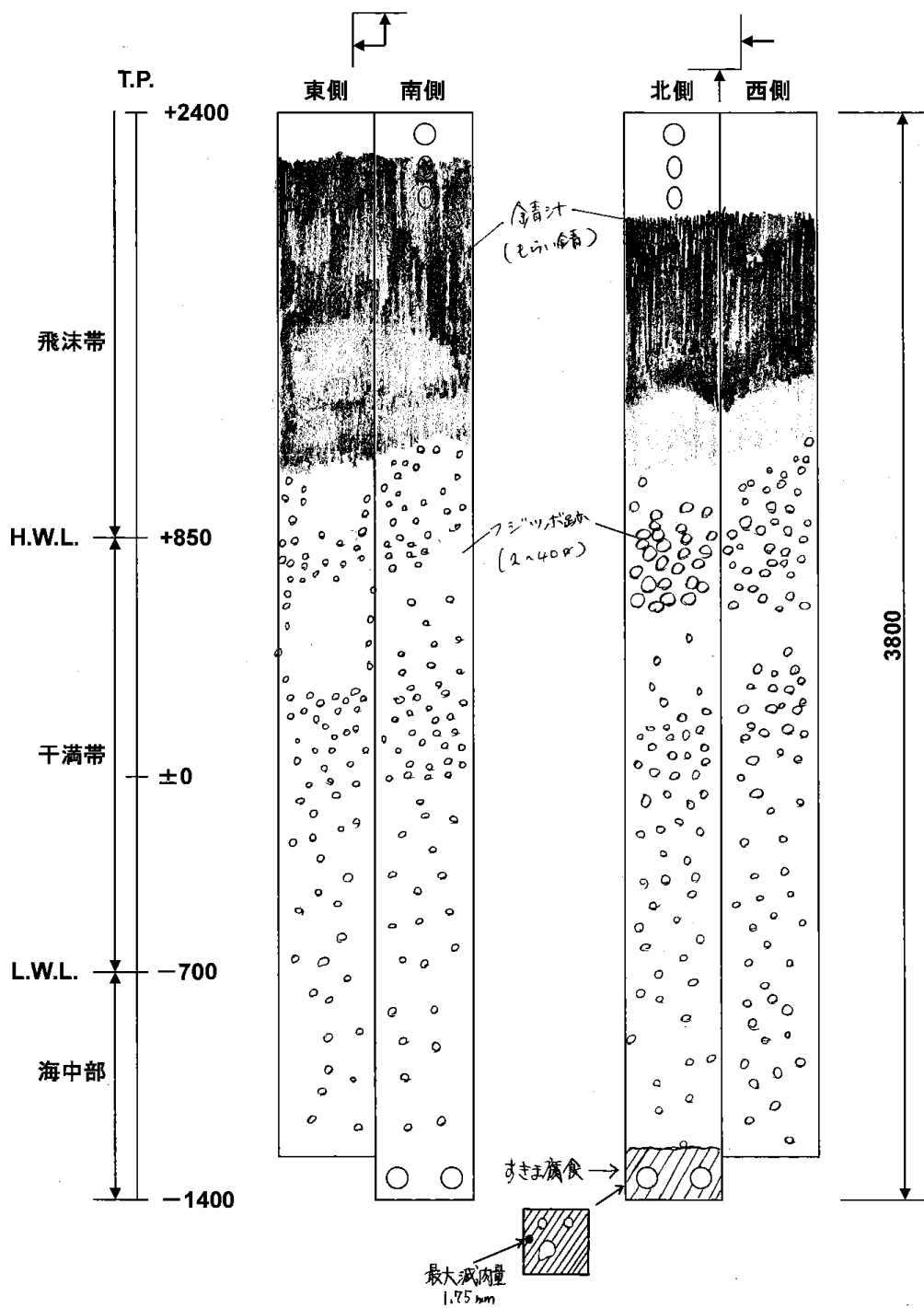


(mm)

防食系：高耐食性ステンレス鋼

防食仕様：高耐食性ステンレス鋼 (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)

図-3.3.13.1 試験材 N-13 海生生物除去前の外観図



(mm)

防食系：高耐食性ステンレス鋼

防食仕様：高耐食性ステンレス鋼 (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)

図-3.3.13.2 試験材 N-13 海生生物除去後の外観図



① 飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



・飛沫帯～海水中にかけてすきま腐食や孔食などの局部腐食は認められず、異状はない

② 海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められない



新規試験材
防食系: 高耐食性ステンレス鋼
防食仕様: (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)

③ 海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められない



写真-3.3.13.2 試験材 N-13 の生物除去後の現地詳細観察結果(南面)



① 飛沫帯の試験材表面にはもらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③ 海水中の絶縁パッキン下ですきま腐食が認められる



② 海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められない



・試験材と施設本体を電氣的に絶縁するために取り付けられた絶縁パッキン(ゴム製)下ですきま腐食の発生が認められた。実際の使用においてはこのように固定することなく、海生生物付着下においてもすきま腐食は認められないことから、イレギュラーケースと考える。

新規試験材
防食系: 高耐食性ステンレス鋼
防食仕様: (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N)

写真-3.3.13.3 試験材 N-13 の生物除去後の現地観察結果(北面)



図-3.3.13.4 試験材 N-13 の生物除去後の現地観察結果（西面）

3.3.13.2 詳細調査

3.3.13.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を目視にて詳細に観察。同時に拡大した各部位の写真を撮影した。

(2) 板厚計測

試験材の外観観察後、腐食していると観察された、飛沫部、海中部のボルト穴固定部近傍、干満部、海中部の代表点を選択し、10×10mmに区切ったメッシュ内の板厚をポイントマイクロメーターにて計測した。海中部、干満部は、12×7=84点×2箇所を計測し、飛沫部のボルト穴周囲は、19×7点を、海中部のボルト穴周囲は、14×7=98点を計測した。

3.3.13.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察結果

写真-3.3.13.5～3.3.13.7に各部・各方向の試験材の外観を示す。

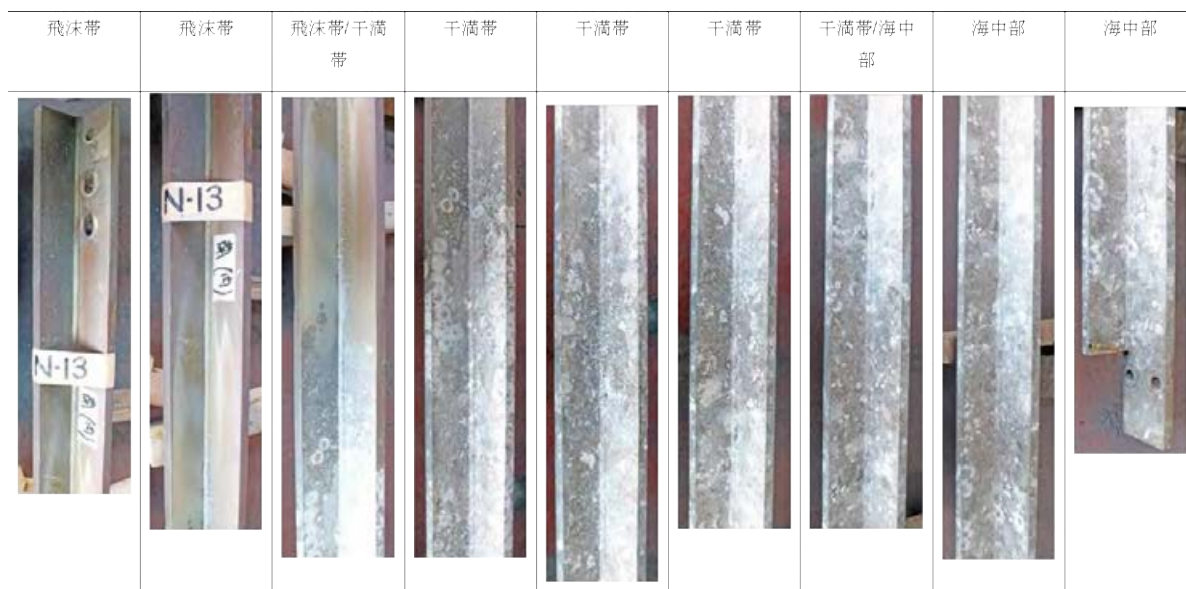


写真-3.3.13.5 試験材N-13の各部拡大写真（東南方向）

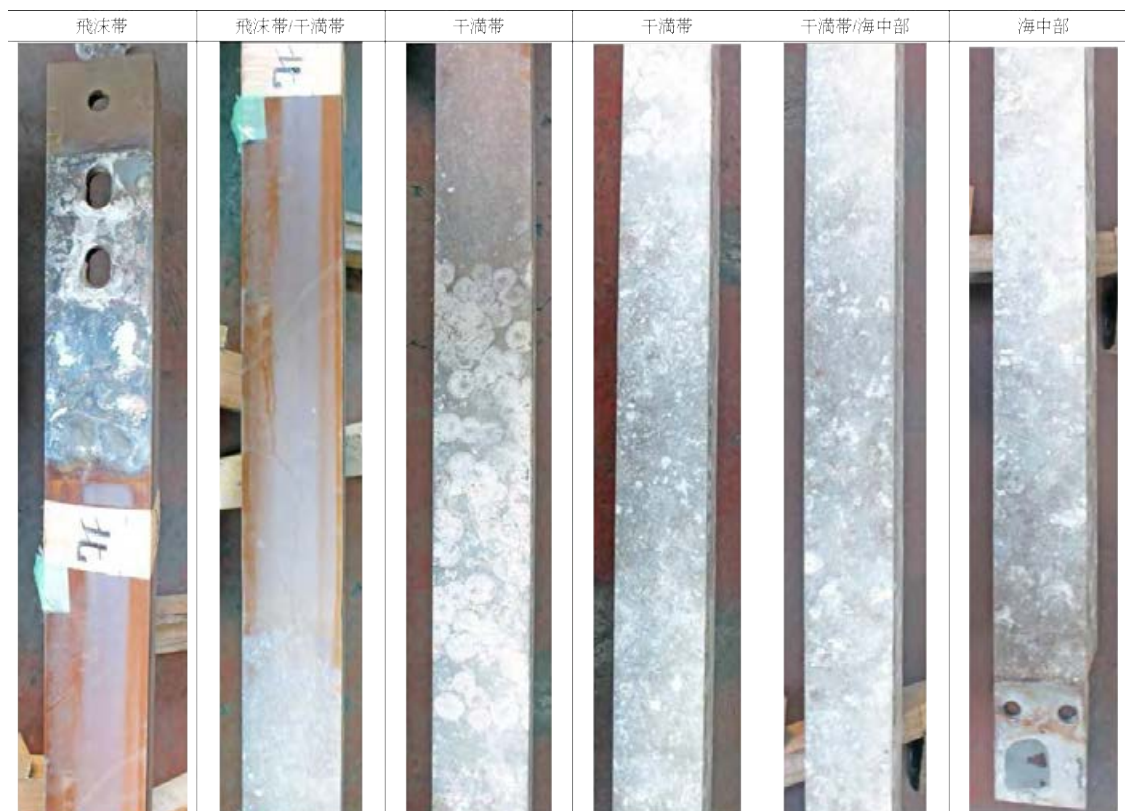


写真-3.3.13.6 試験材N-13の各部拡大写真(北側)



写真-3.3.13.7 N-13 試験材の各部拡大写真 (西側)

外観の詳細観察結果は以下であった。

- ・ 海中部、飛沫部の固定用ボルト穴周囲に絶縁のため取り付けられたゴムシート下では、隙間腐食と見られる腐食が観察された。
- ・ 固定部以外の一般部では、コーナー部の溶接部、フランジ部のいずれにおいても孔食や腐食痕跡は見られなく、健全であった。

(2) 板厚計測結果

表-3.3.13.1, 3.3.13.2 には、干満部、海中部の板厚計測結果を示す。干満部、海中部の明確な腐食が認められなかった部位の板厚は、いずれも平均板厚 $\pm 0.3\text{mm}$ の範囲での変動であった。初期板厚が、 $19.8\pm 0.3\text{mm}$ 程度であったことから、腐食による板厚減少はなかったものと考えられる。また外観からも測定部位は腐食が認められなかったため、傷などによるものと考えられる。

表-3.3.13.1 干満部、海中部(明確な腐食が認められなかった部位)の板厚測定結果

部位	平均板厚(mm)	最小板厚(mm)	最大板厚(mm)
干満部(西)	19.929	19.845	19.973
干満部(南)	19.754	19.535	19.801
海中部(西)	19.844	19.548	19.901
海中部(南)	19.878	19.548	19.973

表-3.3.13.2 飛沫部、海中部(ボルト穴近傍：隙間腐食が認められた部位)の板厚測定結果

部位	平均板厚(mm)	最小板厚(mm)	最大板厚(mm)
飛沫部(北)	19.617	18.806	19.843
海中部(北)	19.537	17.752	19.537

隙間腐食が観察された飛沫部、海中部のボルト固定部位では、飛沫部では最大約0.8mm、海中部では最大約1.8mmの腐食減量を示した。飛沫部では、ボルト穴近傍に最小板厚を示す領域が存在し、海中部ではゴムシートで押さえられた端面近傍で最も大きな板厚減少量が認められた。調査したゴムシートで抑えられた領域は、いずれもその板厚平均値が、概ね腐食の認められなかった領域とほぼ同等に近く、大きな腐食減量を示す領域は限定的である。海中部のみならず飛沫部でも隙間腐食が認められたことから、飛沫～海中部にかけて、ステンレス鋼を用いる場合には、極力隙間構造を避けるべきである。

3.3.13.3 N-13材まとめ

N-13試験材の調査から以下のことが判った。

- N-13 (25Cr-23Ni-4.5Mo-1.5Cu-0.2N) では、飛沫部～海中部の広い範囲において孔食や隙間腐食が認められなかった。ただし、特異なケースとして、目的外の影響が認められた。試験材固定のための飛沫部、海中部のボルト穴周囲に配したゴムシート下では隙間腐食が認められた。腐食の程度は、海中部で最大1.8mm、飛沫部で0.8mmであった。飛沫部から海中部への使用には、隙間構造を極力避けることが必要であることが判った。

3.3.14 試験材 N-14

3.3.14.1 現地調査

(1)海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.14.1、外観スケッチを図-3.3.14.1に示す。

飛沫帯にあるチタン被覆部は試験材上部からのもらい錆による変色（全体的に金色～茶褐色）が見られたが、被覆層に異状は認められなかった。2005年調査時より観察されていたチタン被覆上側端部処理部のポリウレタン被覆の欠損は前回調査時と同程度であったが、この部分は素管の防食に直接的に関与するものではなく、実際、発錆は見られなかった。スクラッチ傷部については、T.P.+1800のチタン被覆されていない傷部において、ポリウレタン被覆に膨れが見られた。傷内部の鋼材の発錆が進展し、膨れに繋がった可能性がある。一方、T.P.+1300のチタン被覆部のスクラッチ傷部には海生生物の侵入は認められたが、チタン被覆自体に異状は見られなかった。衝撃痕部は、どちらも異状は認められなかった。チタンのパッチ当て補修部については補修材および溶接部のどちらも異状は認められなかった。また、チタン被覆の一般部および溶接部においても、すきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。海生生物は、チタン被覆部のスクラッチ傷上端付近から干満帯にかけて多量のフジツボ類が付着している状態であった。

(2)海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.14.2および3、外観スケッチを図-3.3.14.2に示す。

T.P.+500の位置のパッチ当て補修部については補修材および溶接部のどちらも異状は認められなかった。また、チタン被覆の一般部および溶接部においても、すきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。その他、チタン被覆の無い試験材下端部の鋼材面にも腐食は生じておらず、電気防食効果が良好に機能していることが認められた。

(3)電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.14.1に示す。

今回（2013年）、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1059～-1087mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.14.1 試験材 N-14 の電位 (mV vs. SCE)

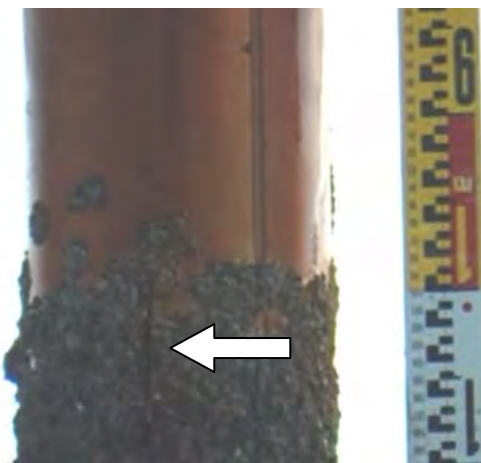
測定年度	測定位置					平均値
	T. P. +900	T. P. +400	T. P. -100	T. P. -600	T. P. -1100	
2005年	—	-1079	-1078	-1079	-1079	-1078
2008年	—	-1097	-1097	-1098	-1098	-1098
2011年	-1082	-1083	-1085	-1086	-1086	-1084
2013年	-1059	-1080	-1087	-1074	-1077	-1075



施設側（北側）



ウレタン部人工傷および
ポリウレタン塗膜欠損状況



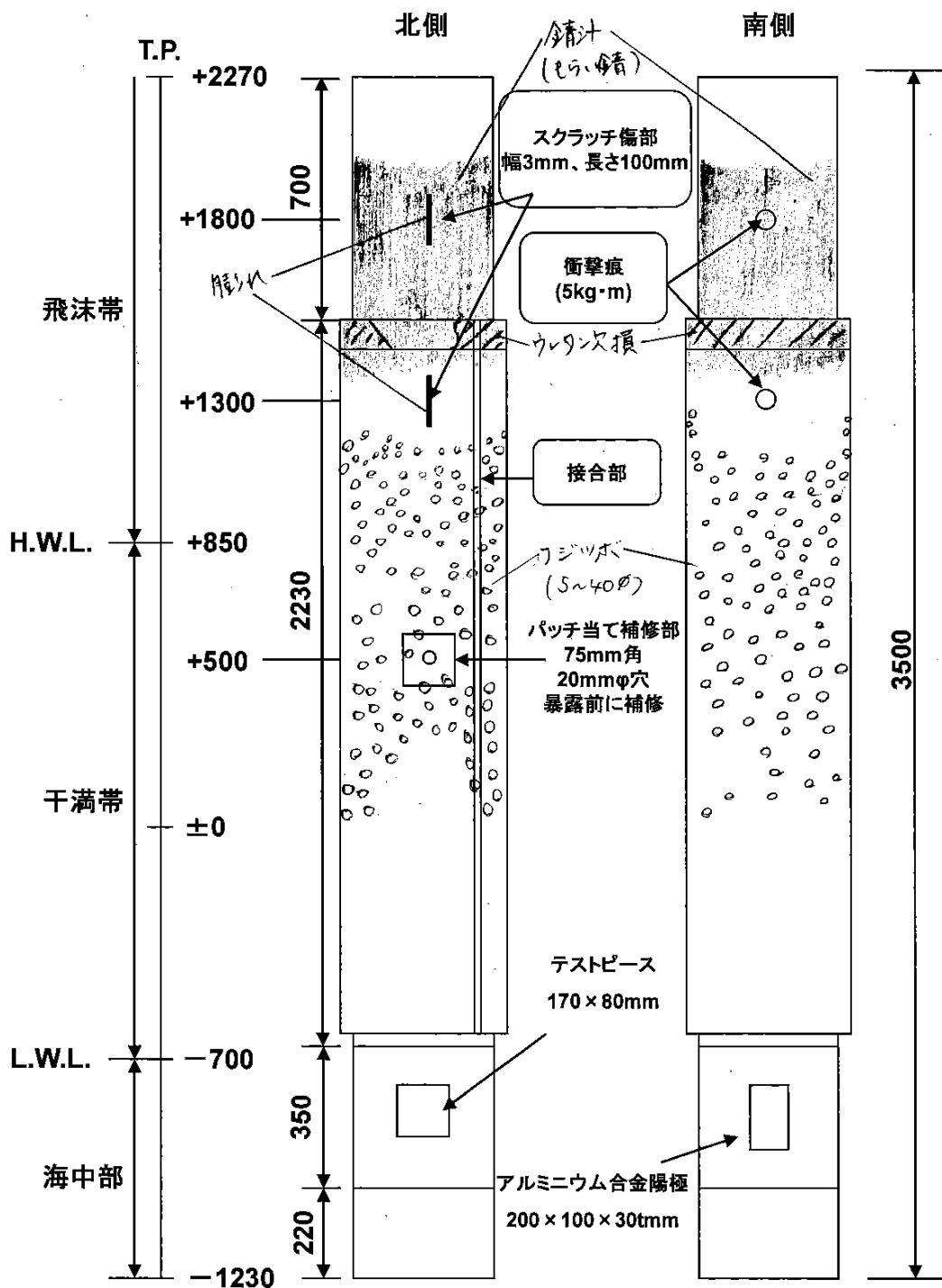
チタン被覆部人工傷状況

新規暴露試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン薄板被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆＋接着層＋Ti＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.14.1 試験材N-14 海生生物除去前の外観状況写真



防食系：ポリウレタン被覆＋チタン薄板被覆＋電気防食
 防食仕様：ポリウレタン被覆＋接着層＋Ti＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.14.1 試験材 N-14 海生生物除去前の外観図



試験材上端部

①

②

③

④

⑤

⑥ 試験材下端部

①スクラッチ傷部

(発錆により若干ふくれあり)

②ウレタン塗膜の欠損

③スクラッチ傷部内への海生生物の侵入が認められる

④補修部 (溶接部に異状は認められない)



⑤一般部および接合部に異状は認められない

⑥テストピースの外観状況



新規試験材

防食系：ポリウレタン被覆
 + チタン薄板被覆

防食仕様：ポリウレタン被覆
 + 電気防食

+ 接着層 + Ti
 + アルミニウム合金陽極

写真-3.3.14.2 試験材N-14 (北面) 海生生物除去後の外観状況



④ 試験材下端

③

②

① 試験材上端

①衝撃痕部（異状は認められない）



②衝撃痕部（異状は認められない）



③一般部および接合部に異状は認められない



④アルミニウム合金陽極の消耗状況



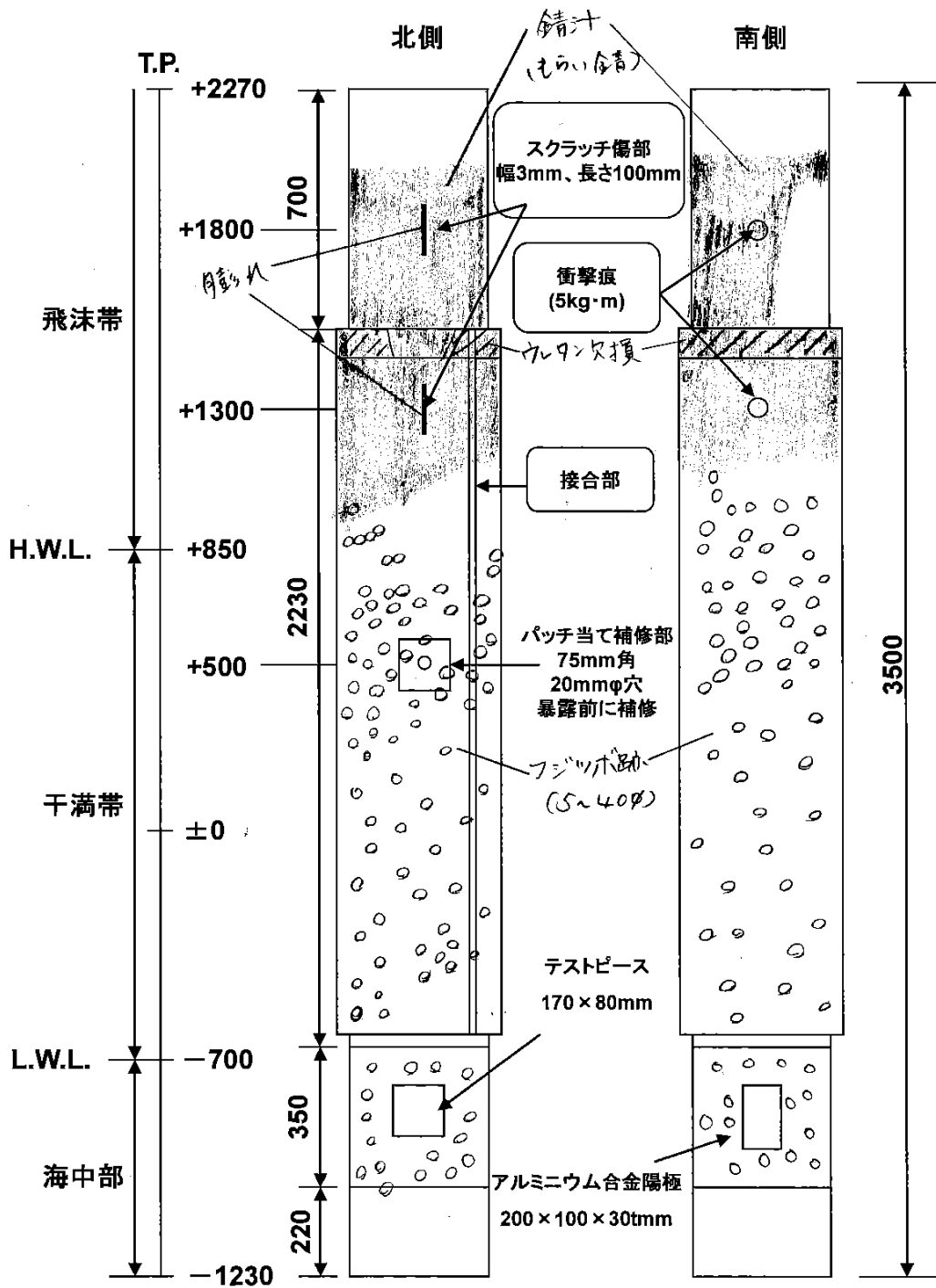
・一般部および接合部には海生物付着下においてもすみま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない

新規試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン薄板被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆＋接着層＋Ti＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.14.3 試験材 N-14（南面）海洋生物除去後の外観状況



防食系：ポリウレタン被覆＋チタン薄板被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆＋接着層＋Ti＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.14.2 試験材 N-14 海生生物除去後の外観図

(4) 塗装部付着力測定

試験材の塗装部付着力測定結果を表-3.3.14.2に示す。ポリウレタン被覆の初期値は8MPaで破壊形態はウレタン凝集であるが、傷部周辺(①、②)では、ポリウレタン/プライマー間での剥離が発生して密着力が低下していた。その他の部位、タールエポキシ塗装部では接着剤の剥がれあるいは凝集破壊であって、破壊形態に問題は見られなかった。

表-3.3.14.2 試験材N-14 塗装付着力測定結果

試験体No.	測定位置	付着力 MPa	剥離形態	試験面写真
N-14	① 北 T.P.+1.67m	1.5	E: 100%	
	② 北 T.P.+1.67m	1.0	E: 100%	
	③ 北 T.P.+1.67m	2.0	A: 60% D: 40%	
	④ 北 T.P.-1.12m	2.8	C: 70% D: 30%	
	⑤ 北 T.P.-1.12m	2.0	C: 60% D: 20% E: 20%	
	⑥ 北 T.P.-1.12m	2.9	C: 80% D: 20%	
	⑦ 南 T.P.+1.67m	1.5	A: 10% D: 90%	
	⑧ 南 T.P.+1.67m	3.0	A: 30% D: 70%	
	⑨ 南 T.P.+1.67m	2.2	A: 70% D: 30%	
	⑩ 南 T.P.-1.12m	2.5	A: 20% C: 80%	
	⑪ 南 T.P.-1.12m	2.0	D: 100%	
	⑫ 南 T.P.-1.12m	1.8	D: 100%	

- 試験面破壊形態
- A: 付着強度測定用ドリー-接着剤間の層間剥離
 - B: 接着剤の凝集破壊
 - C: 接着剤-供試材間の層間剥離
 - D: 供試材の凝集破壊
 - E: 供試材-プライマー間の層間剥離
 - F: プライマーの凝集破壊
 - G: プライマー-鋼材間での層間剥離

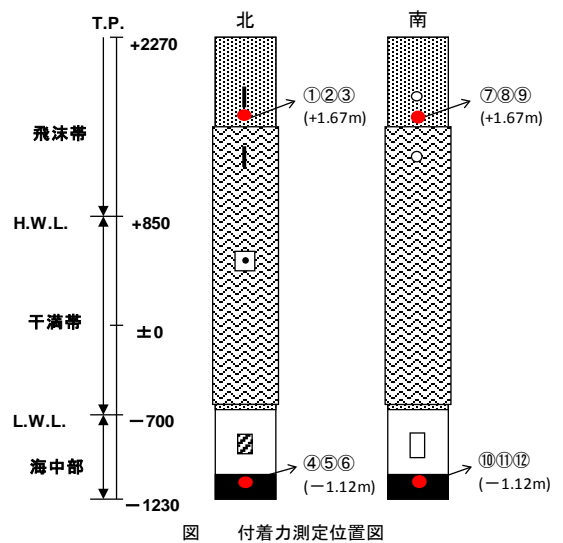
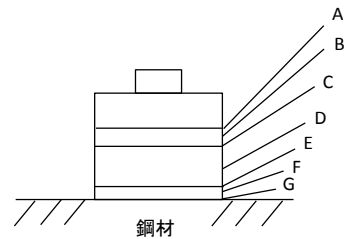


図 付着力測定位置図

(5) 交流インピーダンス測定

試験材の海上ウレタン部の交流インピーダンス測定結果を表 3. 3. 14. 3 と図 3. 3. 14. 3 および 4 に示す。

表-3. 3. 14. 3 試験材 N-14 の交流抵抗および静電容量 (T. P. +1. 67m)

N-14 (T. P. +1. 67m)							
測定方向	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			測定方向
	200Hz	500Hz	1000Hz	200Hz	500Hz	1000Hz	
北面	6. 46E+09	7. 05E+09	3. 59E+09	北面	38. 5	37. 6	36. 9
南面	6. 07E+09	5. 59E+09	2. 84E+09	南面	36. 4	35. 6	35

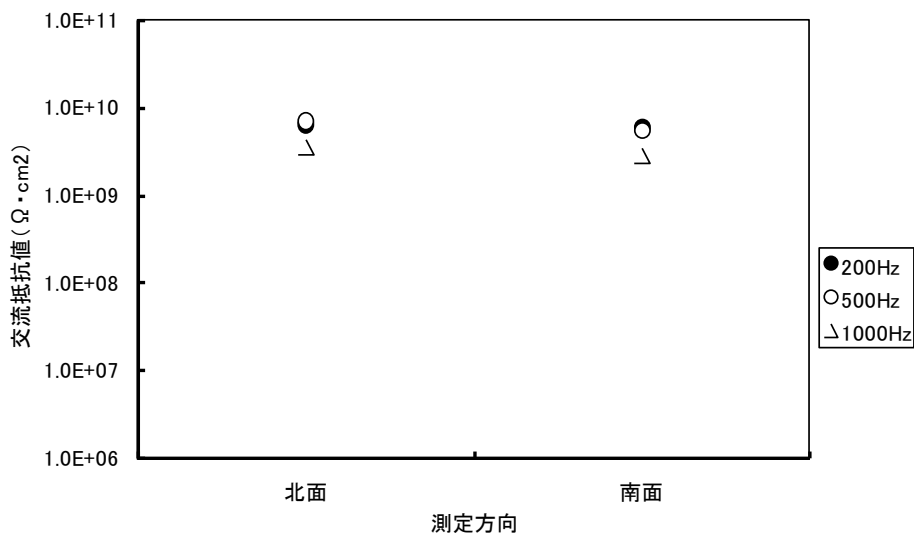


図 3. 3. 14. 3 試験材 N-14 の交流抵抗 (T. P. +1. 67m)

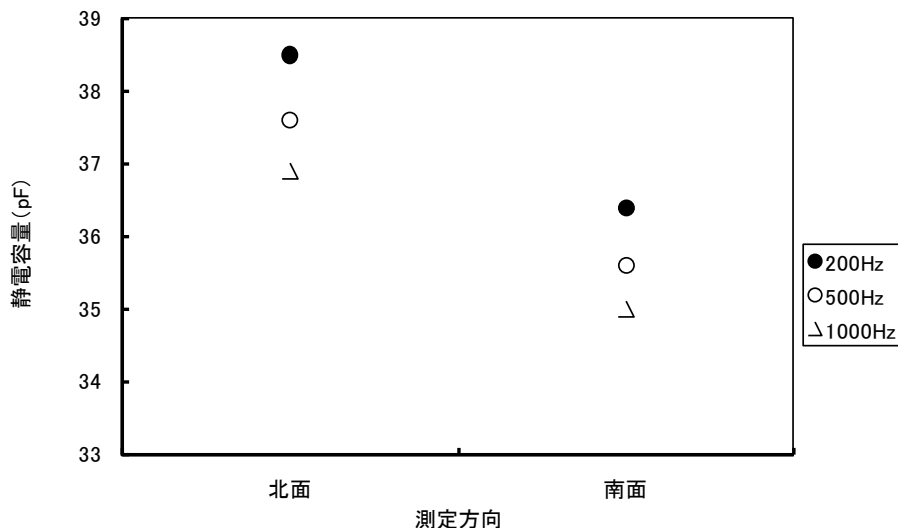


図-3. 3. 14. 4 試験材 N-14 の静電容量 (T. P. +1. 67m)

海中のタールエポキシ部の結果を表-3. 3. 14. 4 と図-3. 3. 14. 5 および 6 に示す。海上ウレタンも海中タールエポキシも、高い交流抵抗値が維持されている。

表-3.3.14.4 試験材 N-14 の交流抵抗および静電容量 (T.P. -1.12m)

N-14 (T.P. -1.12m)							
測定方向	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			
	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
北面	8.84E+08	4.07E+08	2.32E+08	北面	150	135	128
南面	6.93E+08	3.65E+08	1.93E+08	南面	205	198	187

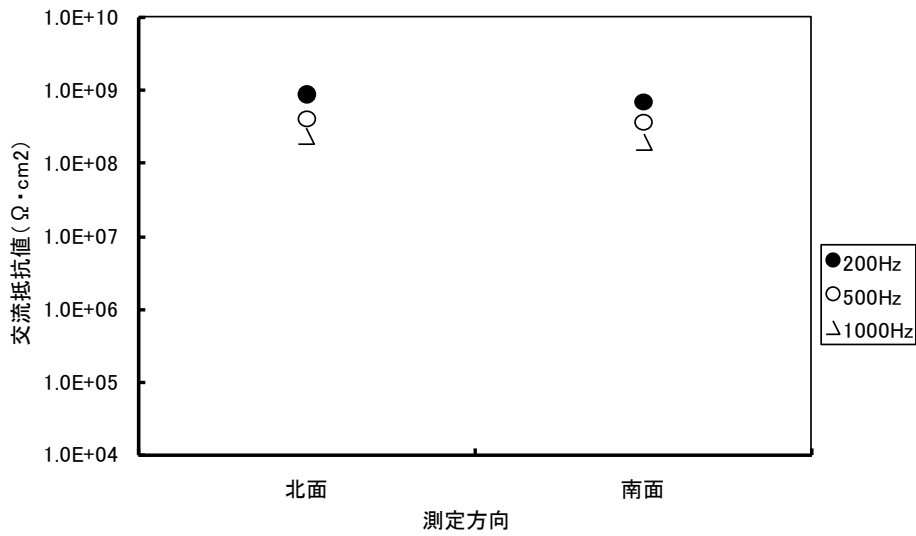


図 3.3.14.5 試験材 N-14 の交流抵抗 (T.P. -1.12m)

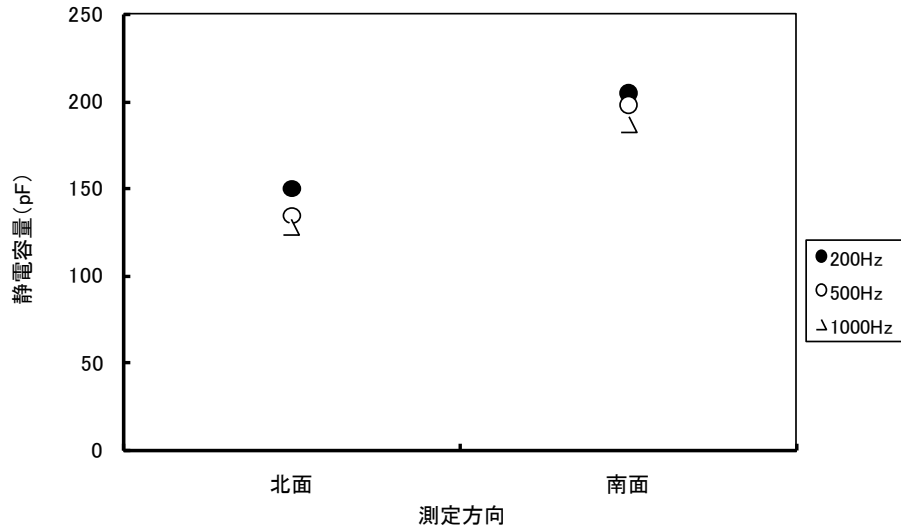


図-3.3.14.6 試験材 N-14 の静電容量 (T.P. -1.12m)

(6)絶縁抵抗測定

試験材のウレタン被覆及びタールエポキシ塗装部の絶縁抵抗測定結果を表-3.3.14.5、図-3.3.14.7に示す。

表-3.3.14.5 試験材N-14の絶縁抵抗測定結果

測定年度	測定位置	絶縁抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	
2013年	北 T.P.+1.67m	1分値	9.25E+12
		2分値	1.13E+13
	南 T.P.+1.67m	1分値	1.00E+13
		2分値	1.25E+13
	北 T.P.-1.12m	1分値	2.50E+07
		2分値	4.00E+07
	南 T.P.-1.12m	1分値	8.75E+12
		2分値	5.00E+12

注)
 印加電圧：500V (D.C)
 1分値：電圧印加後、1分後の測定値
 2分値：印加電圧後、2分後の測定値

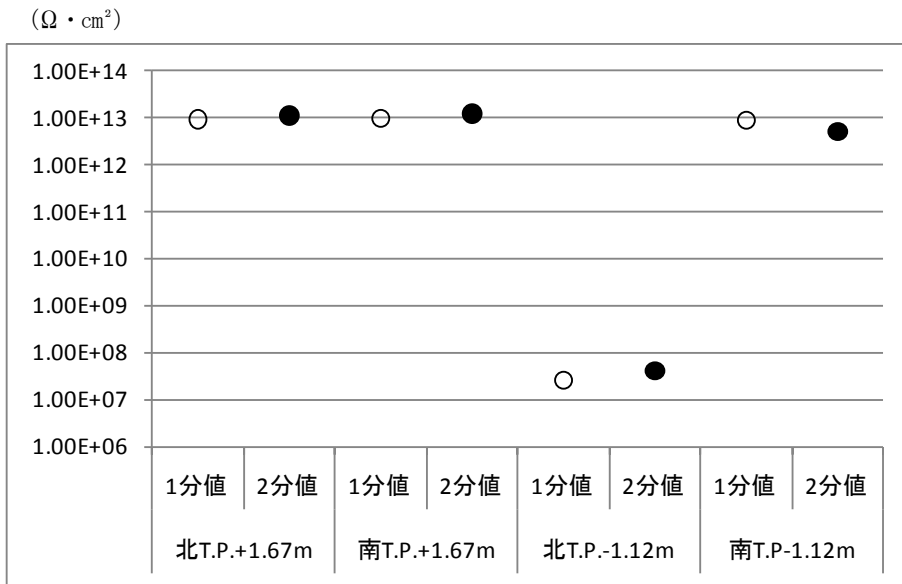


図-3.3.14.7 試験材N-14の絶縁抵抗値

(7)アルミニウム合金陽極の消耗量測定

試験材のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表-3.3.14.6、写真-3.3.14.4に示す。チタン被覆はウレタンと接着剤によって鋼管と完全に絶縁されていることから、損耗量は小さい。

表-3.3.14.6 試験材 N-14 アルミニウム合金陽極質量・形状測定結果

		陽極寸法 (mm)			陽極質量 (kg)			(kg/y)
測定 年度	測定 方向	厚さ (c)	縦(b)	横(a)	製品 質量	残存 質量	消耗 質量	消耗速度
2013年	南	32	102	202	1.45	1.37	0.08	0.008



写真-3.3.14.4 陽極外観状況 (試験材 N-14)

3.3.14.2 詳細調査

(1) 外観

試験体 N-14 の 4 方向からの写真を写真-3.3.14.5 に示す。外観は前述の現地調査と同じで、チタン被覆上側のポリウレタンのみ被覆のスクラッチ傷部は、被覆の腫れが見られる。下端の鋼材露出面に腐食は見られず、電気防食が有効であった。チタン被覆部は溶接部、衝撃部、補修部、スクラッチ傷部の全てで異常は見られない。

(2) 調査項目

表-3.3.14.7 に調査項目、調査部位、方法をまとめた。ポリウレタン被覆及びタールエポキシ部については、A) 塗膜硬度測定、B) 傷部・衝撃部の腐食確認、C) 衝撃の健全性確認を実施。チタン被覆部については B) 傷部・衝撃部・補修部の腐食確認、C) 衝撃の健全性、D) チタンの付着強度確認を実施。また、その他として、E) 電気防食の有効性を鋼材プレートで評価した。

表 3.3.14.7 調査仕様

調査項目	部位	方法
A) 塗膜硬度測定	ポリウレタン被覆部	T.P.+1670 近辺で 2 か所(施設側・海側) ショア D 硬度
	タールエポキシ部	T.P.-1120 近辺で 2 か所(施設側・海側) 鉛筆硬度
B) 傷部・衝撃部・補修部腐食確認	ポリウレタン被覆部	T.P.+1800 施設側の傷部及び海側の衝撃部の 2 か所の被覆をはつり除去し、UST で板厚変化を測定。
	チタン被覆部	T.P.+1300 施設側の傷部及び海側の衝撃部の 2 か所の被覆をはつり除去し、UST で板厚を測定。
	チタン補修部	T.P.+500 の施設側 1 か所を最初にチタンのみ、次に被覆を全部はつり除去。はつり後に貫通傷からの腐食及び剥離の進展距離を測定(写真撮影)
C) 衝撃強度 (ASTM G-14)	ポリウレタン被覆部	傷部・補修部腐食確認のはつり後に残った健全部で実施。1 か所 5 kg(可能であれば重さ変更)
	チタン被覆部	1 か所 (補修部の反対面) 5 kg で実施。
D) 付着強度	チタン被覆部	パッチ当て補修部の上下 2 か所でピール実施(初期値 2 kg/cm)
E) 電防評価	無防食 鋼材プレート	取り外して観察。腐食異常があれば、酸洗して腐食状況を見る

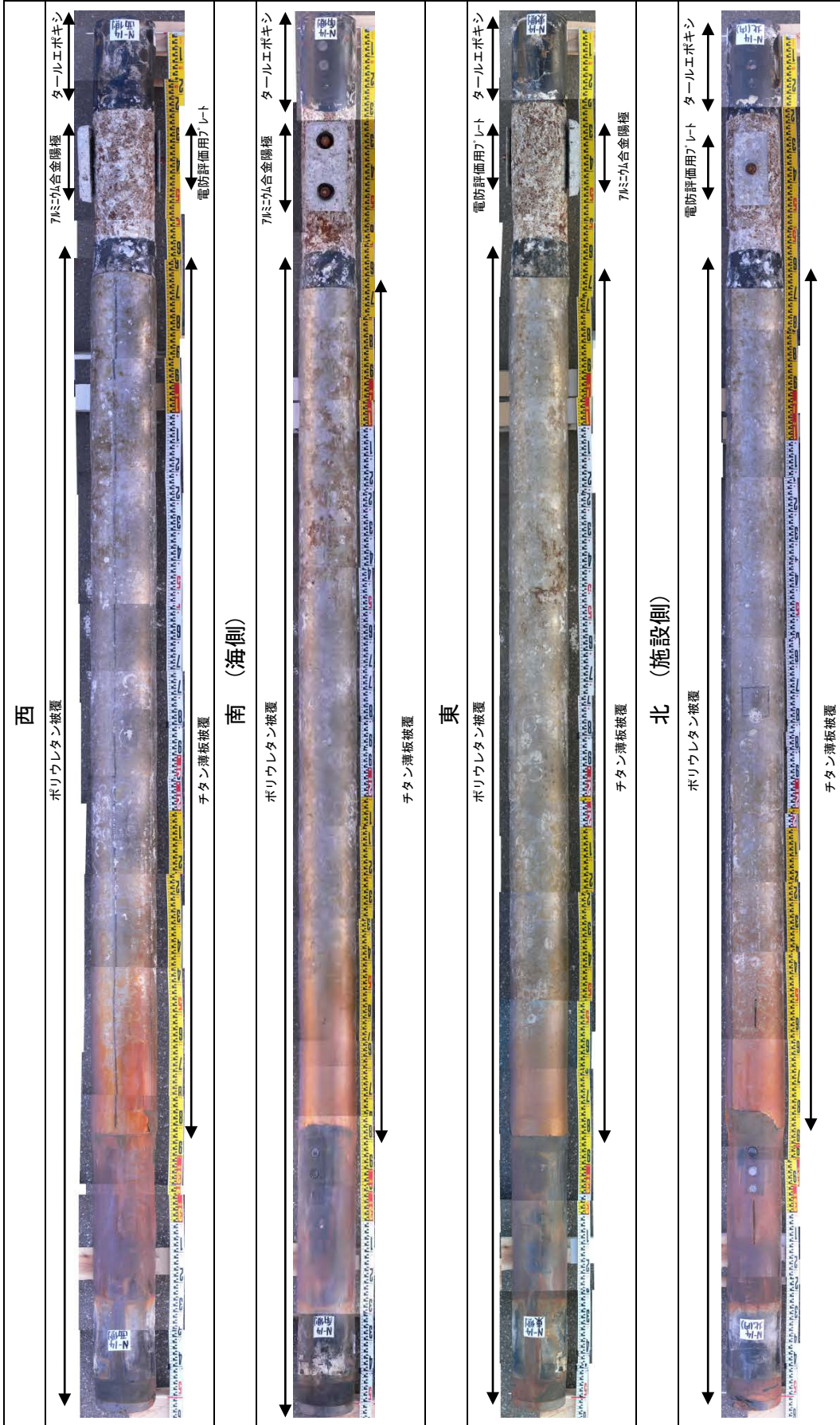


写真-3.3.14.5 外観

(3)測定結果

A) 塗膜硬度

写真-3.3.14.6 に示す部位の塗膜硬度を測定した。ポリウレタン被覆部は写真-3.3.14.7 に示す方法でショアD硬度、タールエポキシ塗装部は写真-3.3.14.8 に示す鉛筆硬度を測定した。結果を表-3.3.14.8 及び 9 に示す。いずれも硬度が上昇しており、塗膜硬化が進んでいると考えられる。

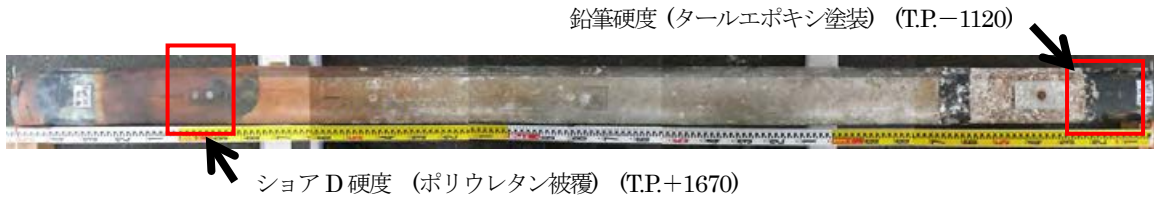


写真-3.3.14.6 塗膜硬度測定位置



写真-3.3.14.7 ショアD硬度測定状況



写真-3.3.14.8 鉛筆硬度測定状況

表-3.3.14.8 ショアD硬度

測定位置	塗装	時期	ショアD硬度	
			施設側(北)	海側(南)
T.P. +1670 (下端から 2900mm)	ポリウレタン被覆	今回	64 (22°C)	65 (19°C)
		初期*	53	53

*初期値は方面化粧塗り部で内部のショアDは61

表-3.3.14.9 鉛筆硬度

測定位置	塗装	時期	鉛筆硬度	
			施設側(北)	海側(南)
T.P. - 1120 (下端から 110mm)	タールエポキシ 塗装	今回	2H (22°C)	2H (21°C)
		初期	HB	HB

B) 傷部・衝撃部・補修部腐食確認

B-1) ポリウレタン被覆部 (T.P.+1800) 施設側(北)のスクラッチ傷

写真-3.3.14.9にウレタン被覆のスクラッチ傷の位置を示す。写真-3.3.14.10にスクラッチ傷の状況及び剥離作業状況を示す。スクラッチ傷部周辺は傷部からの腐食に伴うウレタン被覆の膨れが見られる。

スクラッチ傷周辺部の被覆剥離後の鋼面の腐食状況を写真-3.3.14.11に示す。膨れ下部には傷から最大で37mmの距離まで錆が堆積している。更にその周辺部には薄い錆が最大で59mmまで広がっている。また、スクラッチ傷からの塗膜の接着力低下は、最大で129mmであった(13mm/y)。

剥離部の板厚測定状況を写真-3.3.14.12、測定結果を表-3.3.14.10、図-3.3.14.8に示す。塗膜浮き下部錆部は腐食による凹凸が見られ、最大腐食深さは、0.71mmである。一方、凹凸部以外では板厚減少は見られず健全であった。



写真-3.3.14.9 T.P.+1800 施設側(北)のウレタン被覆のスクラッチ傷の位置

<p>剥離前のスクラッチ傷の状況 傷部周辺の盛り上がり有り</p>	
<p>剥離前の傷部の状況 スクラッチ傷 長さ 100mm 幅 約4mm</p>	
<p>剥離作業状況</p>	

写真-3.3.14.10 ポリウレタン被覆のスクラッチ傷の腐食確認




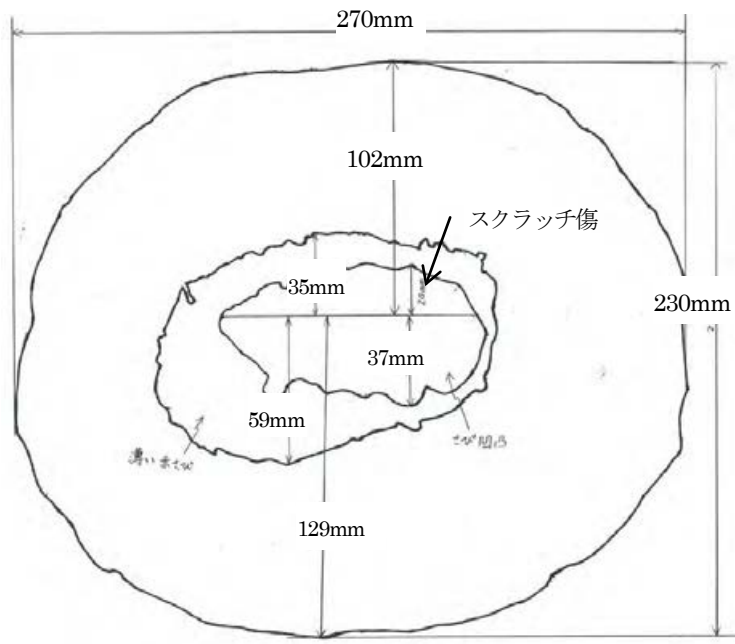
<p>剥離後</p>	
<p>中央の浮き錆の除去後</p>	
<p>中央部の錆 浮き錆部は腐食して凹凸にな っている。 凹凸の距離 スクラッチ傷から 最大 37mm</p>	
<p>剥離部のスケッチ図</p> <p>スクラッチ傷からの剥離幅 /最大 129mm</p> <p>スクラッチ傷からの錆の発生 距離/最大 59mm</p> <p>スクラッチ傷からの浮き錆の 発生距離/最大 37mm</p>	

写真-3.3.14.11 ポリウレタン被覆のスクラッチ傷の腐食確認

表-3.3.14.10 スクラッチ傷の剥離部の板厚測定(超音波厚さ計による)

	板厚
今回 (施設側 T.P. +1800)	10.20mm~10.72mm
初期 参考(施設側 T.P. +1500)	10.50mm

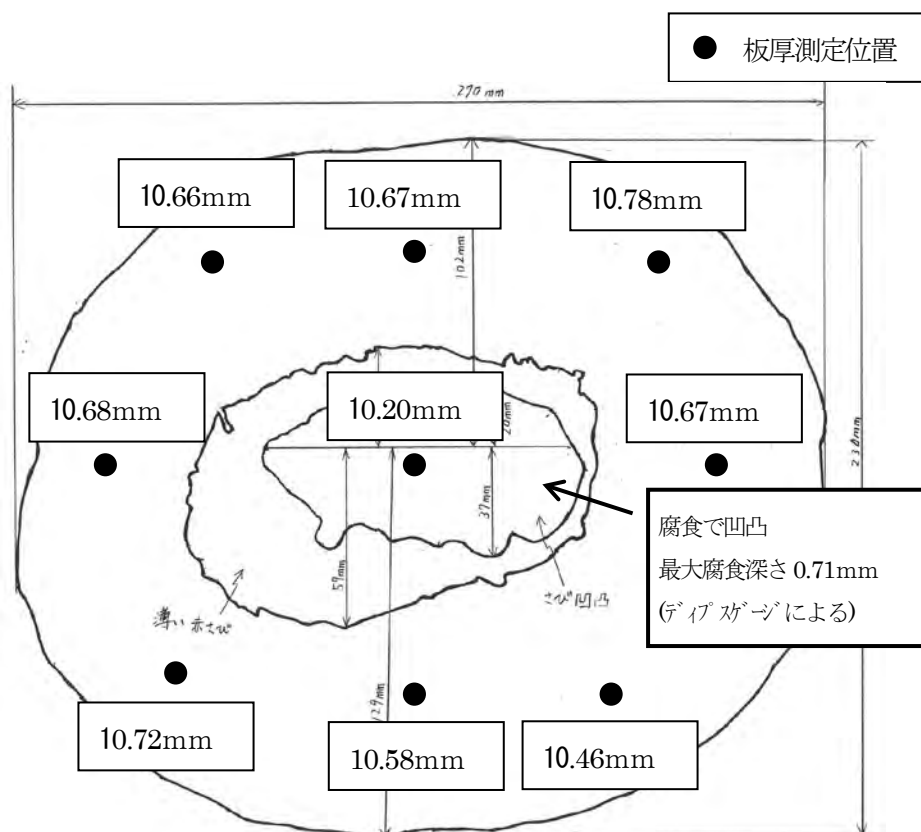


図-3.3.14.8 スクラッチ傷の剥離部の板厚測定



写真-3.3.14.12 スクラッチ傷の剥離部の板厚測定状況

B-2)ポリウレタン被覆の衝撃部 (T.P.+1800) 海側(南)

写真-3.3.14.13 に衝撃部の位置、写真-3.3.14.14 に衝撃部及び剥離後の状況、図-3.3.14.9 に剥離後のスケッチ図を示す。衝撃部中心の貫通傷部には中心から最大で8mm まで錆が見られ、その周辺部には白色堆積物が見られた。ウレタン被覆の接着低下距離は最大で82mmであった (8mm/y)。

剥離部の板厚測定結果を表-3.3.14.11、図-3.3.14.10 に示す。板厚減少は見られず健全であった。



写真-3.3.14.13 T.P.+1800 施設側(南)のポリウレタン被覆の衝撃部の位置

<p>衝撃部 / 剥離前</p> <p>T.P.+1800</p> <p>下端から 3040mm</p> <p>衝撃痕 φ11mm</p>	
<p>衝撃部 / 被覆剥離後</p>	
<p>剥離部</p> <p>衝撃部に少し薄い錆有り</p>	

写真-3.3.14.14 ポリウレタン被覆の衝撃部の腐食確認

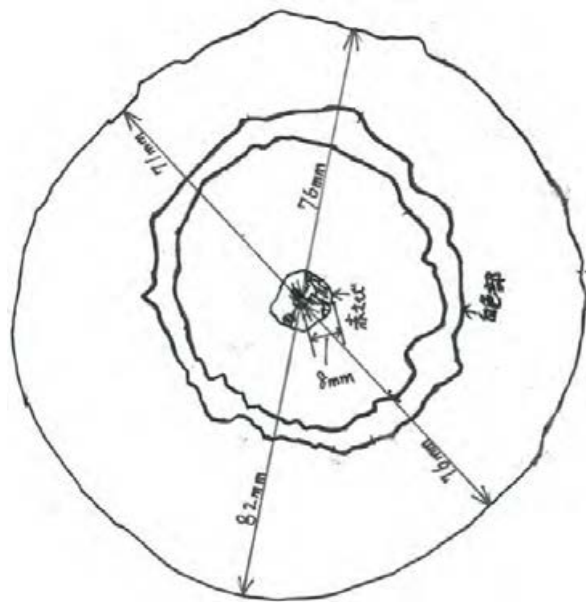


図-3.3.14.9 衝撃部の剥離後のスケッチ

表-3.3.14.11 衝撃部の剥離個所の板厚測定(超音波厚さ計による)

	板厚
今回 (海側 T.P.+1800)	10.94mm~11.64mm
初期 参考(海側 T.P.+1500)	10.92mm

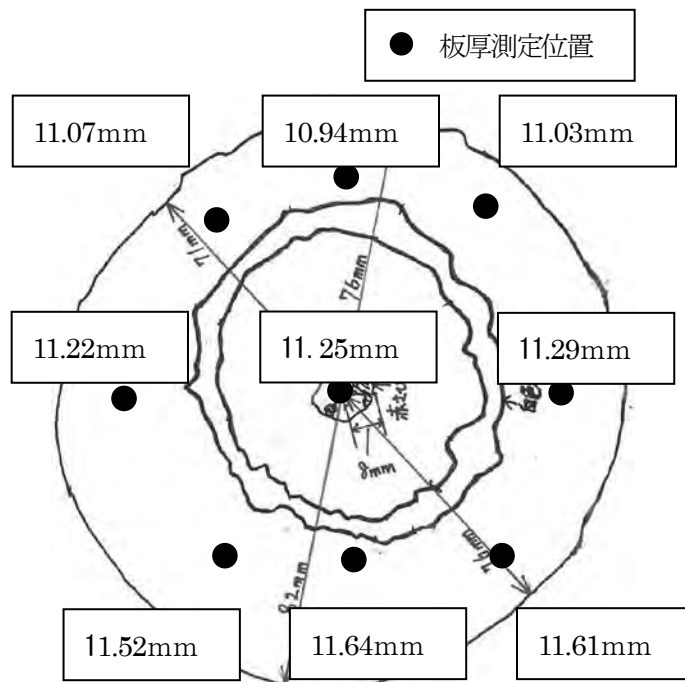


図-3.3.14.10 衝撃部の剥離部の板厚測定

B-3) チタン被覆部のスクラッチ傷部 (T.P.+1300) 施設側(北)

写真-3.3.14.15 にチタン被覆のスクラッチ傷の位置を示す。写真-3.3.14.16 にスクラッチ傷の状況及び剥離作業状況を示す。写真-3.3.14.17 スクラッチ傷部周辺のチタンのみを剥離した状況と、鋼面まで剥離した状況を示す。また、スクラッチ傷周辺部の被覆剥離後の鋼面の腐食状況を写真-3.3.14.18 に示す。スクラッチ傷周辺の被覆には腫れがあり、その範囲は、スクラッチ傷から最大で約13mmであった。はつり後の傷周辺には鋼面にも薄い錆が見られ、スクラッチ傷からの塗膜の周方向の錆幅は、最大で30mm (3mm/y)、スクラッチ傷からの塗膜の軸方向の錆幅は、傷の下部からの剥離が大きく102mmであった。傷が飛沫上部であることから、傷下部に堆積した水の影響が考えられる。一方、ウレタン被覆とは異なり錆の無い接着低下部は見られなかった。

剥離部の板厚測定結果を表-3.3.14.12、図-3.3.14.11 に示す。板厚減少は見られず健全であった。



写真-3.3.14.15 T.P.+1300 施設側(北)のチタン被覆のスクラッチ傷の位置




<p>剥離前の傷部の状況</p> <p>スクラッチ傷の周辺に少し盛り上がり有り</p> <p>盛り上がりの範囲</p> <p>スクラッチ傷から最大約13mm</p>	
<p>剥離前の傷部の状況</p> <p>スクラッチ傷</p> <p>長さ 100mm</p> <p>幅 3mm~4mm</p>	
<p>チタン被覆のチップソーカッターによる切断作業</p>	

写真-3.3.14.16 チタン被覆のスクラッチ傷の腐食確認

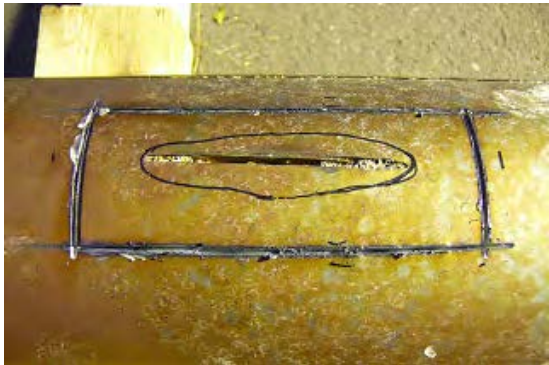

<p>チタン被覆のチップソーカッターによる切断後</p>	
<p>チタン被覆はつり後</p>	
<p>接着剤層のはつり後</p>	
<p>ポリウレタン被覆のはつり後</p>	

写真-3.3.14.17 チタン被覆のスクラッチ傷の腐食確認

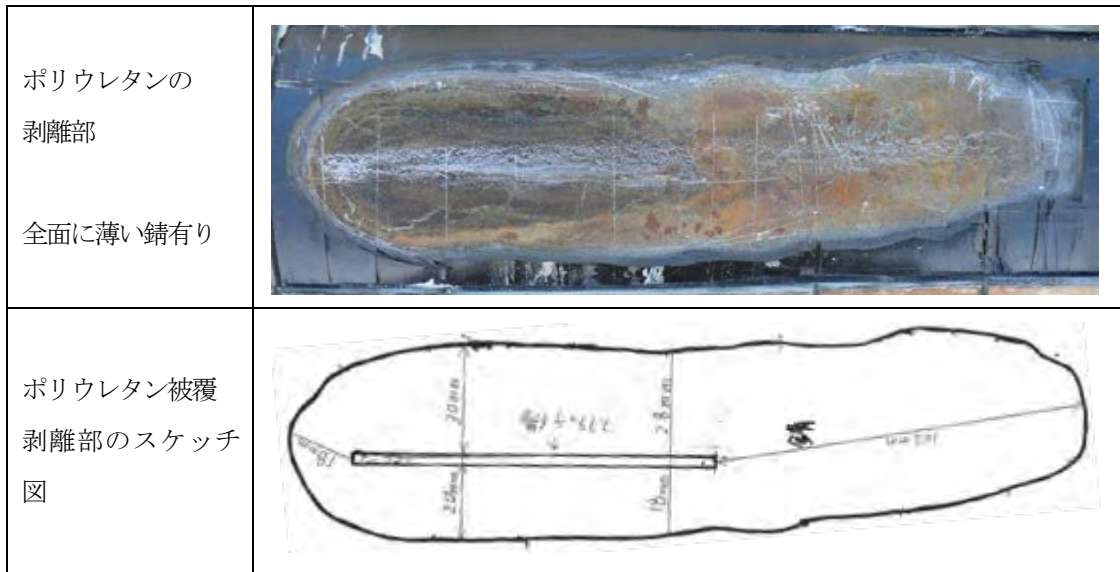


写真-3.3.14.18 チタン被覆のスクラッチ傷の腐食確認

表-3.3.14.12 スクラッチ傷部の剥離個所の板厚測定(超音波厚さ計による)

	板厚
今回 (施設側 T.P.+1300)	10.53mm~10.63mm
初期 参考(施設側 T.P.+1500)	10.50mm

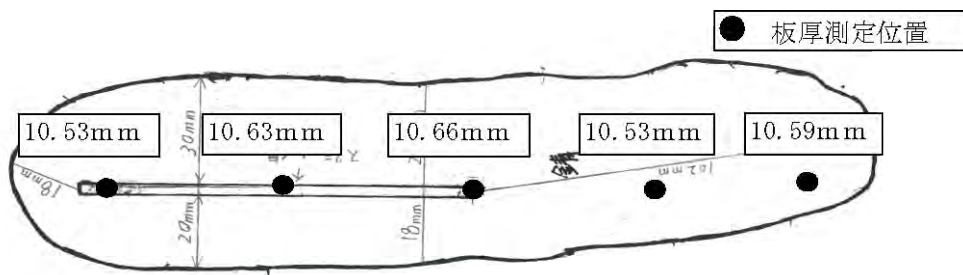


図-3.3.14.11 スクラッチ傷部の剥離部の板厚測定

B-4) チタン被覆衝撃部 (T. P. +1300) 海側(南)

写真-3.3.14.19 に衝撃部の位置、写真-3.3.14.20 に衝撃部及びウレタンまで剥離した状況、写真-3.3.14.21 に鋼面まで剥離した状況を示す。衝撃変形は主に接着剤部に留まっており、ウレタンの貫通は見られない。このため、衝撃部でも接着低下や鋼面の腐食は発生していない (0mm/y)。

剥離部の板厚測定状況を写真-3.3.14.22、測定結果を表-3.3.14.13 に示す。板厚減少は見られず健全であった。



写真-3.3.14.19 T. P. +1800 施設側(南)のポリウレタン被覆の衝撃部の位置

<p>剥離前の衝撃部の状況</p> <p>T. P. +1300</p> <p>下端から 2530mm</p> <p>衝撃凹みの範囲 $\phi 8\text{mm}$</p> <p>盛り上がりを含めると $\phi 15\text{mm}$</p>	
<p>チタン被覆の除去</p>	
<p>接着層の除去</p> <p>ポリウレタン被覆の衝撃痕</p> <p>$\phi 11\text{mm}$</p>	

写真-3.3.14.20 チタン被覆の衝撃部の腐食確認

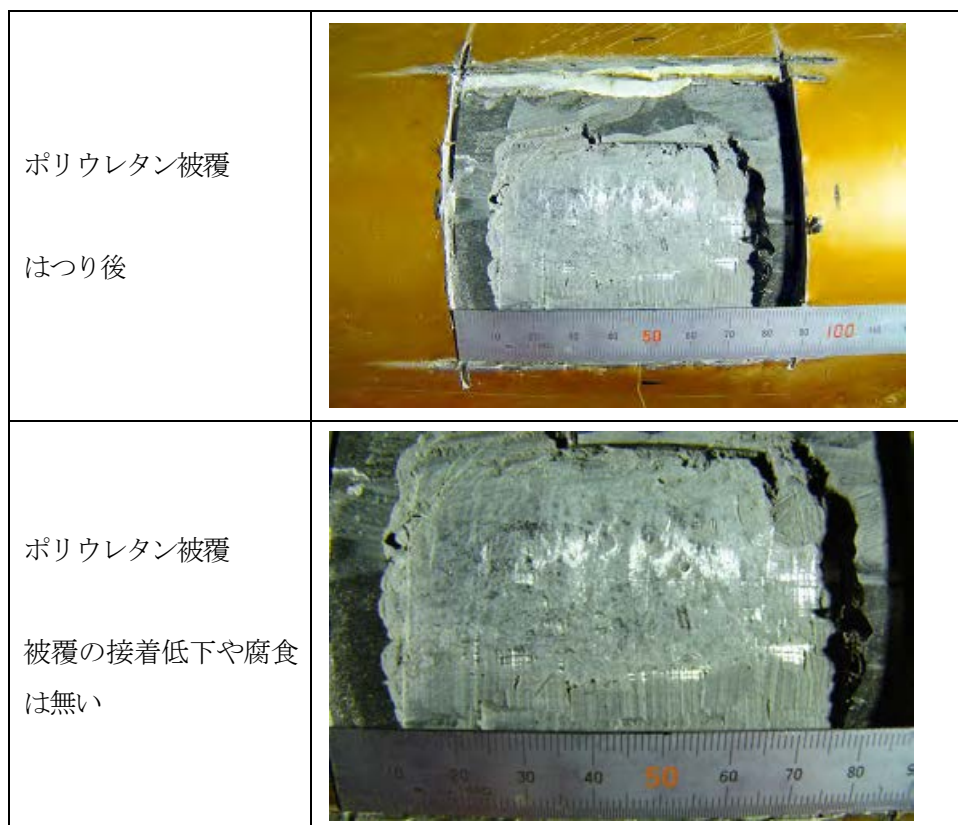


写真-3. 3. 14. 21 チタン被覆の衝撃部の腐食確認

表-3. 3. 14. 13 チタン被覆衝撃部の板厚測定(超音波厚さ計による)

測定位置	板厚
今回 (海側 T.P.+1300)	11.14mm
初期 参考(海側 T.P.+1500)	10.92mm



写真-3. 3. 14. 22 チタン被覆衝撃部の板厚測定状況

B-5)チタン被覆のパッチ当て補修部 (T.P.+500) 施設側(北)

写真-3.3.14.23 に補修部の位置を示す。写真-3.3.14.24 に補修部の状況、チタン、接着剤を順にはつって、ウレタンまで剥離した状況を示す。チタン補修の溶接部に異常は見られず健全であった。チタン剥離後に観察した接着層へ溶接の熱影響は、溶接直下に留まる。更に接着剤をはつっても、問題は見られない。写真-3.3.14.25 に最後の鋼面まで剥離した状況を示すが、接着低下や鋼面の腐食は発生していない (0mm/y)。剥離部の板厚測定結果を表-3.3.14.14、写真-3.3.14.26 に示す。板厚減少は見られず健全であった。



写真-3.3.14.23 T.P.+500 施設側(北)のチタン被覆のパッチ当て補修部の位置

<p>剥離前のチタン補修部の状況</p> <p>T.P.+500 下端から 1730mm</p> <p>パッチ当て 大きさ 80mm角 外観は特に異常なし</p>	
<p>チタン被覆の剥離後</p> <p>特に異常なし</p>	
<p>接着層のはつり後</p> <p>人工穴は接着層までで、鋼管までは達していない。 ポリウレタン被覆 特に異常なし</p>	

写真-3.3.14.24 チタン被覆のパッチ当て補修部の腐食確認

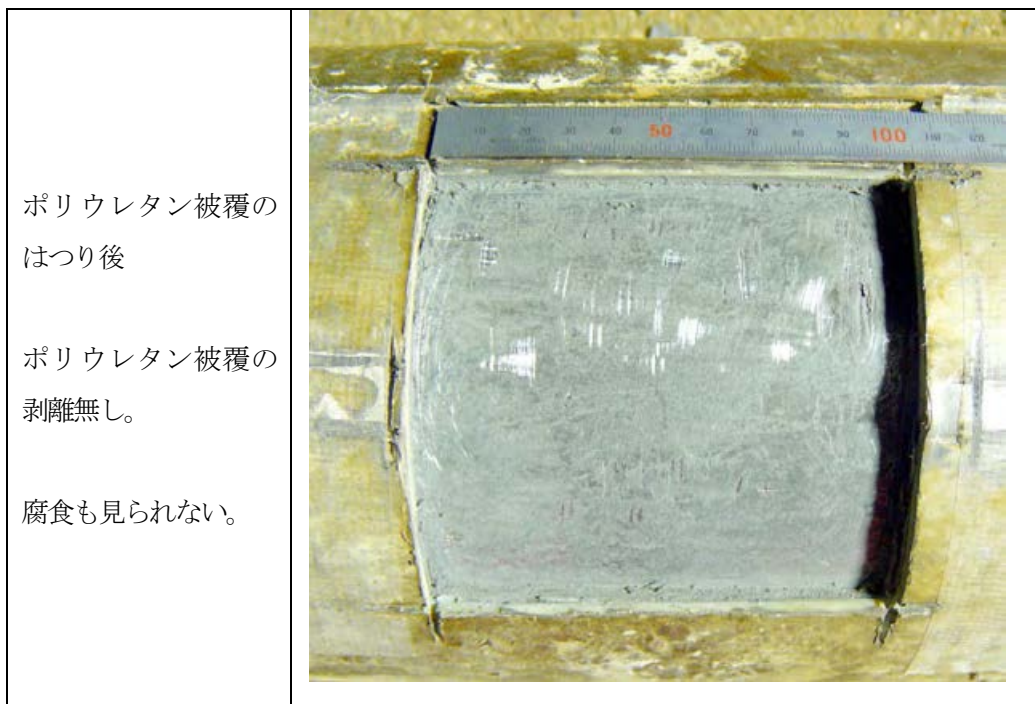


写真-3. 3. 14. 25 チタン被覆のパッチ当て補修部の腐食確認

表-3. 3. 14. 14 チタン被覆のパッチ当て補修部の板厚測定(超音波厚さ計による)

測定位置	板厚
今回 (施設側 T.P.+500)	10.41mm~10.85mm
初期 参考(施設側 T.P.+1000)	10.32mm

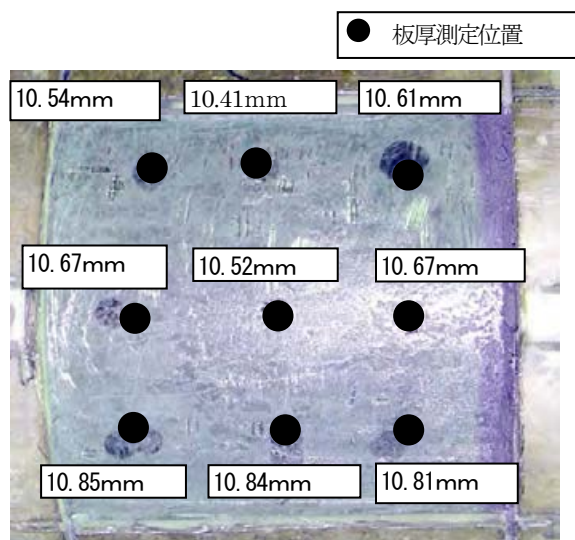


写真-3. 3. 14. 26 チタン被覆のパッチ当て補修部の板厚測定

C) 衝撃試験

C-1) ポリウレタン被覆

写真-3.3.14.27 に示す T.P.+1710 の位置で衝撃試験を行った。衝撃エネルギーは、5 kg・m で、5 kg の重りを 1m の高さから落下させた。ポンチは直径 5/8 インチの ASTM G14 の準じたサイズを使用。結果を表-3.3.14.15、写真-3.3.14.28 に示す。衝撃部にはピンホールが生じた。

C-2) チタン被覆

写真-3.3.14.27 に示す T.P.+500 と T.P.+1320 で衝撃試験を行った。衝撃エネルギーは、5 kg・m で、5 kg の重りを 1m の高さから落下させた。ポンチは直径 5/8 インチを使用。結果を表-3.3.14.16、写真-3.3.14.29 及び 30 に示す。T.P.+500 と T.P.+1320 共に、チタンに亀裂は生じていない。

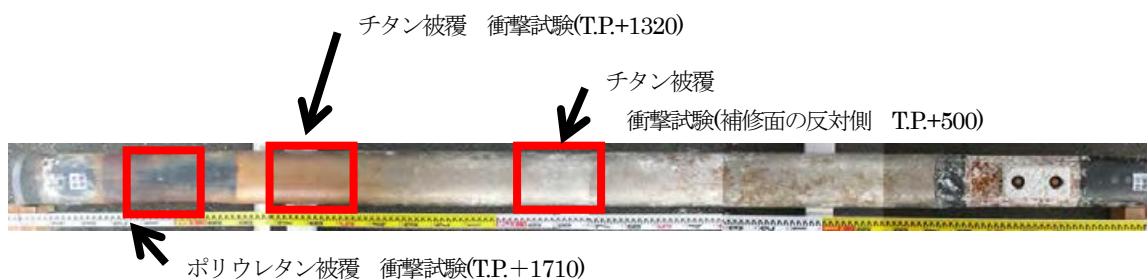


写真-3.3.14.27 衝撃試験の位置

表-3.3.14.15 ウレタン被覆の衝撃強度

試験位置	膜厚	衝撃エネルギー	表面温度	結果
T.P.+1710 (東側)	3110 μm	5 kg・m	18°C	ピンホールあり

衝撃試験 ASTM G-14 準拠 ポンチ直径 5/8in

表-3.3.14.16 チタン被覆の衝撃強度

試験位置	膜厚	衝撃エネルギー	表面温度	結果
T.P.+500 (南側)	6890 μm	5 kg・m	20°C	チタンに亀裂異常なし
T.P.+1320 (東側)	6440 μm	5 kg・m	19°C	チタンに亀裂異常なし

衝撃試験 ASTM G-14 準拠 ポンチ直径 5/8in、ピンホール検査 3kV

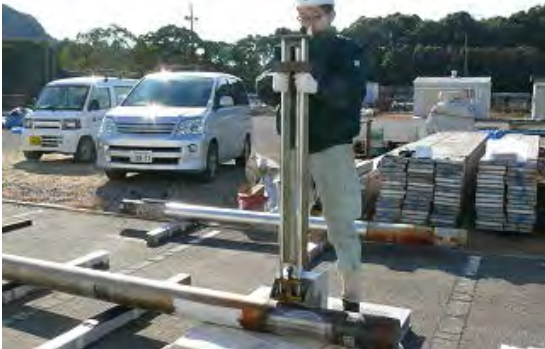



<p>ウレタン被覆の衝撃試験状況</p>	
<p>衝撃試験後</p>	
<p>衝撃試験後 撃芯部 ひびあり ピンホールあり</p>	
<p>ウレタン被覆 衝撃試験後 ピンホール検査 (17.5kV)</p>	

写真-3.3.14.28 ウレタン被覆の衝撃試験(T.P.+1750)


<p>衝撃試験後</p>	
<p>衝撃試験後 チタンに亀裂 なし</p>	

写真 3. 3. 14. 29 チタン被覆の衝撃試験(T. P+500)

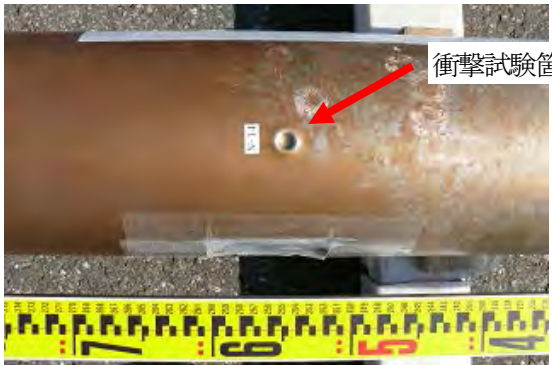
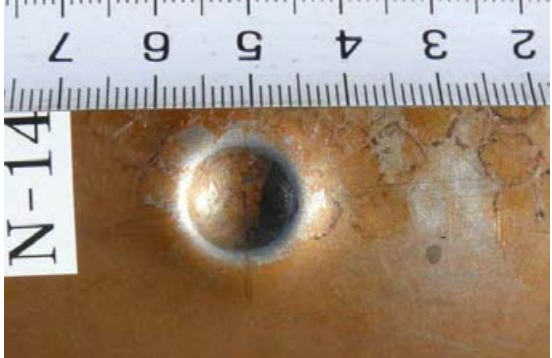
<p>衝撃試験後</p>	
<p>衝撃試験後 チタンに亀裂 なし</p>	

写真 3. 3. 14. 30 チタン被覆の衝撃試験(T. P+1320)

D)チタン付着強度(T. P. +500) 施設側(北)

写真-3.3.14.31 に示すT. P. +500施設側(北)の位置のパッチ当て補修部の上下2個所でチタンと接着剤層の接着力を測定するピール試験を行った。写真-3.3.14.32 にピール試験状況、表-3.3.14.17 に測定結果を示す。2 個所共に、チタンの付着強度は初期と同じで 10 年後でも変化は見られなかった。

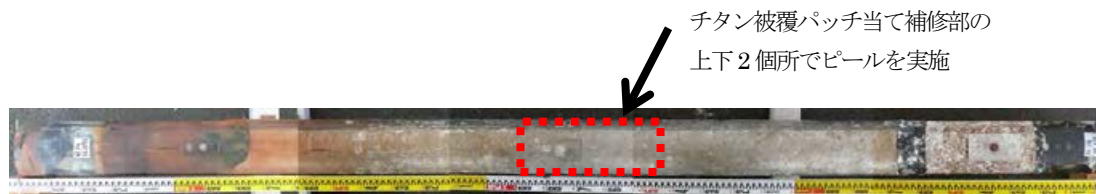


写真-3.3.14.31 ピール測定箇所(T. P. +500) 施設側(北)のチタン被覆のパッチ当て補修部の上下2 個所

表-3.3.14.17 チタン被覆のピール強度

	試験位置	ピール強度	剥離形態	写真
今回	パッチ当て補修部の上	2 kg/cm (24°C)	接着層とチタン被覆間	
	パッチ当て補修部の下	2 kg/cm (23°C)	接着層とチタン被覆間	
初期	同時作製テスト材	2 kg/cm	接着層とチタン被覆間	



写真-3.3.14.32 ピール測定状況

E) 電防評価用プレート観察

写真-3.3.14.33 に示す T.P. -880 施設側(北)の位置にある電防評価用プレートの目視観察を行った。取り外し前後を写真-3.3.14.34 に示す。電気防食が機能しており、プレートに腐食は全く見られない。



写真-3.3.14.33 電防評価プレート位置

<p>電防評価用プレートの 取り付け状況</p>	
<p>貝の除去後 表側 腐食無し</p>	
<p>貝の除去前 裏側 腐食無し</p>	

写真-3.3.14.34 電防評価用プレートの観察

3.3.14.3 N-14 まとめ

海上ウレタン被覆、海中タールエポキシ塗装部には、劣化や供用中の新たな傷は見られず良好であった。一方で、ウレタン被覆の人工スクラッチ傷部は、傷周辺の鋼材表面が凹凸となる腐食が見られた。一方、衝撃傷部では貫通傷はあっても錆による板厚減少は見られなかった。すなわち、鋼面に腐食因子（水、イオン、酸素等）が到達しやすい大きさの傷が発生すると傷周辺部の接着力低下が生じて錆が傷部から徐々に広がることが推定される。このため、傷に対しては定期的に点検が行われることが望ましい。

チタン被覆部については、通常チタン被覆及びチタン溶接部に変化は無く健全であった。人工スクラッチ傷部周辺では鋼材表面に薄い錆は見られるが、板厚減少は無い。補修や衝撃部についても被覆の接着低下や鋼材腐食は全く見られず、チタン被覆部は全体に健全な状態が維持されている。

3.3.15 試験材 N-15

3.3.15.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

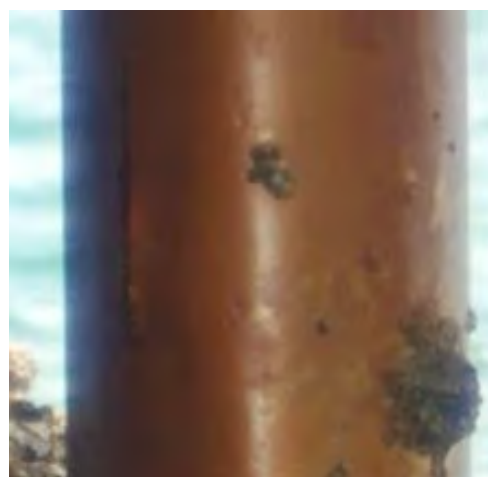
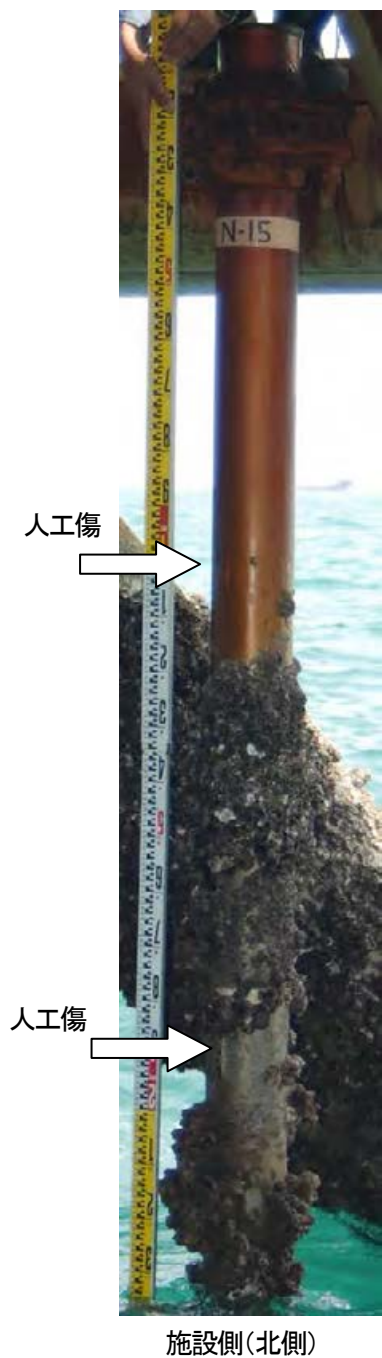
試験材の外観状況を写真-3.3.15.1、外観スケッチを図-3.3.15.1に示す。

飛沫帯にあるチタン被覆部は試験材上部からのもらい錆による変色（全体的に金色～茶褐色）が見られたが、被覆層に異状は認められなかった。スクラッチ傷については、飛沫帯の方では傷内部での鋼材の腐食と海生生物の侵入が見られた。干満帯の方も飛沫帯と同様に鋼材の腐食と海生生物の侵入が見られ、チタン箔被覆の一部がめくれ上がり、傷が開いている状態が認められた。飛沫帯の衝撃痕部については、チタン箔被覆がめくれ上がり、鋼材面が露出した状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけてフジツボ類が付着していたが、それ以下は脱落が多く、チタン面が多く露出していた。

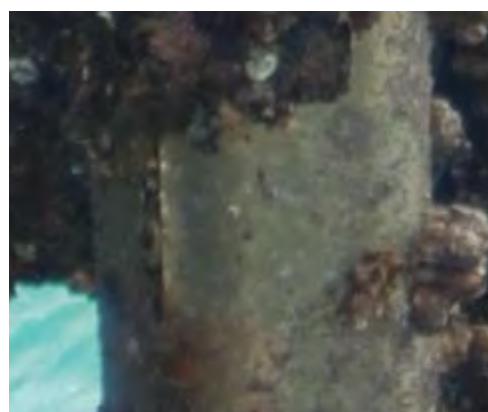
(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.15.2および写真-3.3.15.3、外観スケッチを図-3.3.15.2に示す。

干満帯の衝撃痕部については、異状は無く、健全な状態であることが認められた。チタン箔被覆の接合部には、干満帯においてシール部のシーラントが劣化し、部分的に脱落した箇所が多く見られ、チタン箔被覆がめくれ上がり、鋼材面が露出した状態も認められた。その他のチタン箔被覆の一般部については、海生生物付着下においてもすきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。



飛沫帯人工傷状況(スクラッチ傷)



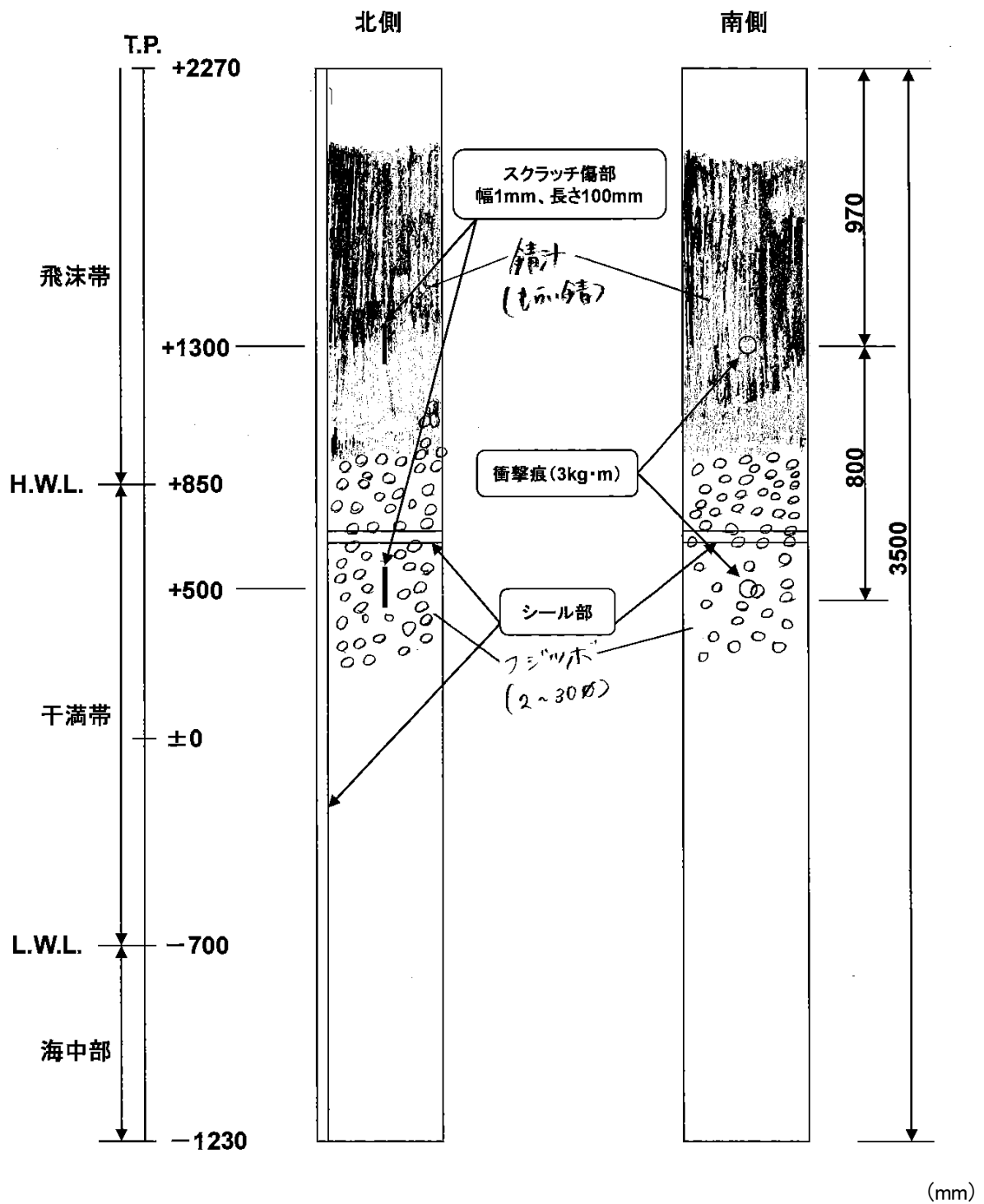
干満帯人工傷状況(スクラッチ傷)

新規暴露試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）

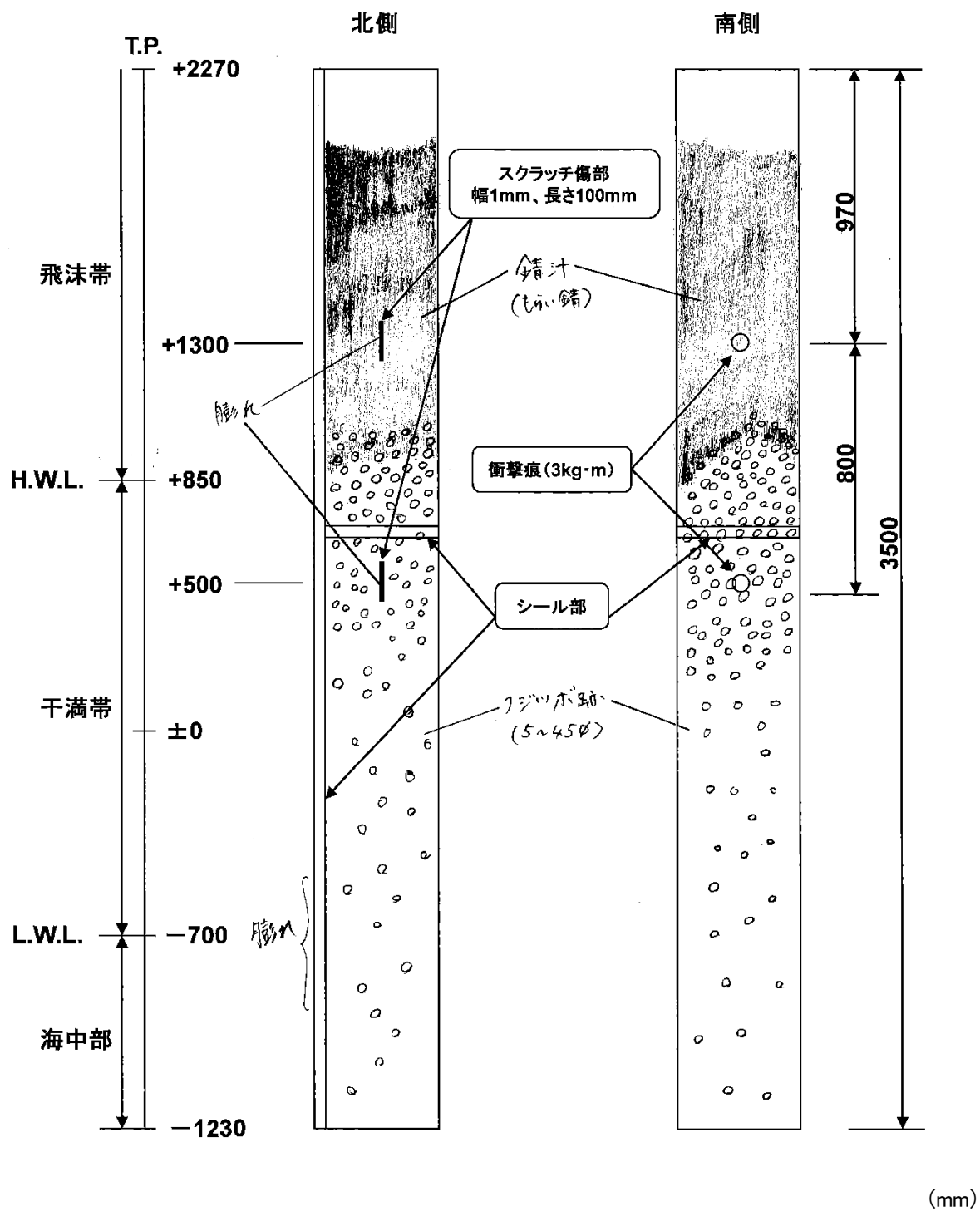
写真-3.3.15.1 試験材N-15 海生生物除去前の外観状況写真



防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）

図-3.3.15.1 試験材 N-15 海生生物除去前の外観図



防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）

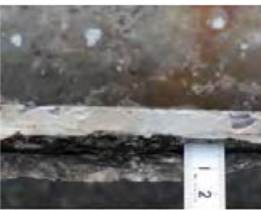
図-3.3.15.2 試験材 N-15 海生生物除去後の外観図



①スクラッチ傷部(傷部内で発錆あり) ③スクラッチ傷部への海生物の侵入が認められる ②シール材が損傷し、チタン箔の一部が剥離



②シール材の機能低下によりチタン箔が剥離が観察される。



- ・試験材の一般部には海生物付着下においてもすさま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。
- ・シール材の機能低下(劣化)によるとみられるチタン箔の剥離が生じ、剥離箇所(海生物が侵入し成長することで損傷が拡大していることが認められる。

新規試験材

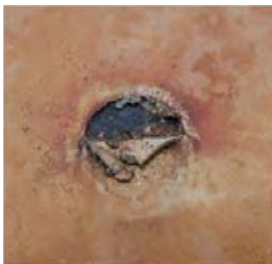
防食系:ポリウレタン被覆+チタン箔被覆

防食仕様:ポリウレタン被覆(2.2mm)+Ti(0.1mm)

写真-3.3.15.2 試験材 N-15 の海生物除去後の外観 (北側)



①衝撃痕部(チタン箔が剥離し鋼管が露出) ②シール材およびチタン箔の欠損 ③シール材およびチタン箔の欠損 ④衝撃痕部(異常なし)



⑤シール材の機能低下によるチタン箔の剥離が認められる(約350mm)



- ・試験材の一般部には海生物付着下においてもすさま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。
- ・シール材の機能低下(劣化)によるとみられるチタン箔の剥離が生じ、剥離箇所(海生物が侵入し成長することで損傷が拡大していることが認められる。

新規試験材

防食系:ポリウレタン被覆+チタン箔被覆

防食仕様:ポリウレタン被覆(2.2mm)+Ti(0.1mm)

写真-3.3.15.3 試験材 N-15 の海生物除去後の外観 (南側)

3.3.15.2 詳細調査

3.3.15.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。また、人工欠陥部(線状傷、衝撃痕)部も別途観察し、写真撮影を実施した。

(2) チタン層接着強度(90度剥離強度)の測定

飛沫部(下端より2100mm)、干満上部(下端より1200mm)、干満下部(下端より900mm)、海中部(下端より300mm)の位置について、試験材の一部を強制的に剥離し、引張試験機により10mm/minの引張速度で剥離したときの反力から90度剥離強度を測定した。測定は室温(23~25℃)で実施した。また剥離後のチタン層の厚みをマイクロメーターで計測した。

(3) ポリウレタン層の付着強度(Pull-off法)

チタン層を剥離した下層のポリウレタン層の付着強度を、Pull-off法にて測定した。測定は、Adhesion testerを使用して常温で行い、(2)項と同様の場所の接着強度を計測した。また、チタン層下のポリウレタン層の厚みを電磁膜厚計にて計測した。

(4) 人工欠陥部および被覆端部の被覆層の状況

人工欠陥部の周囲および被覆層下端部について、周囲の被覆層を一部剥離することでそのダメージ範囲・錆侵入距離を測定した。また傷部の板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターにて板厚を計測した。また、人工欠陥部(衝撃痕)では、被覆層を剥離し、板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターで計測した。

3.3.15.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察結果

写真-3.3.15.4~3.3.15.7に外観写真を示す。チタン層の大きな脱落はないが、一部チタン層被覆継ぎ目部分のシール材が脱落しており、チタン層先端の剥離が極わずかに認められる。写真-3.3.15.8には、飛沫部、干満部に設けた人工線状欠陥部および打撃痕部の外観を示す。人工線状欠陥部では、傷が鋼に達しているため傷部が腐食しており、その錆層の盛り上がりが見られる。特に干満部において著しい。そのため一部の被覆層が一部で浮いているのが観察された。打撃痕については大きな変化はなく、劣化も認められない。



写真-3. 3. 15. 4 N-15 試験材 (西側) の各部 (飛沫部～海中部) の外観



写真-3. 3. 15. 5 N-15 試験材 (南側) の各部 (飛沫部～海中部) の外観



写真-3.3.15.6 N-15 試験材(北側)の各部(飛沫部~海中部)の外観



写真-3.3.15.7 N-15 試験材(東側)の各部(飛沫部~海中部)の外観



写真-3.3.15.8 試験材N-15の人工線状欠陥部および打撃痕部の外観

(2) チタン層の接着強度測定結果(90度剥離強度)

表-3.3.15.1に、各部のチタン層の接着強度測定結果、および表-3.3.15.2にチタン層厚を示す。

表-3.3.15.1 N-15試験材の各部のチタン層接着強度

部位	チタン層接着強度(N/cm)	剥離部位
飛沫部	21.8	粘着材凝集破壊+PU/粘着材
干満部(上部)	22.6	粘着材凝集破壊
干満部(下部)	20.0	粘着材凝集破壊+PU/粘着材
海中部	25.0	粘着材凝集破壊

表-3.3.15.2 N-15試験材の各部のチタン層厚

部位	チタン層厚み(μm)
飛沫部	107
干満部(上部)	110
干満部(下部)	109
海中部	108

チタン層の接着強度は、部位により大きな差はなくいずれも20~25N/cm前後を示し、初期の付着強度(25N/cm)からは大きな変化はなく、チタン/PU層間の付着強度は保持されていたと考えられる。また、チタン層の厚みは、当初(100μm)から変化なく、チタン層の明確な損耗も認められなかった。

(3) ポリウレタン層の接着強度の測定結果(Pull-off法)

表-3.3.15.3に、各部のチタン層下に位置するポリウレタン層の接着強度測定結果を示す。また表-3.3.15.4にはポリウレタン層厚測定結果を示す。

表-3.3.15.3 N-15試験材の各部のポリウレタン層接着強度

部位	チタン層接着強度(MPa)	剥離部位
飛沫部	3.8	ポリウレタン凝集破壊
干満部(上部)	4.0	ポリウレタン凝集破壊
干満部(下部)	3.8	ポリウレタン凝集破壊
海中部	3.5	ポリウレタン凝集破壊

ポリウレタン層の接着強度測定時の破壊界面は、全てポリウレタン層の凝集破壊であり、3.5MPa以上の接着強度を有しており、大きな接着劣化は認められなかった。

表-3. 3. 15. 4 N-15 試験材の各部のポリウレタン層厚

部位	ポリウレタン層厚 (mm)
飛沫部	2.25
干満部(上部)	2.25
干満部(下部)	2.10
海中部	2.24

ポリウレタン層は、2.1～2.2mm程度であり、当初の厚みから大きな変化はない。

(4) 人工欠陥部、被覆端部の被覆層の状況

表-3. 3. 15. 5 に、人工欠陥部および被覆層下端における最大剥離幅および平均剥離幅を示す。また表-3. 3. 15. 6には、人工欠陥部およびその周囲の最大板厚減少量を示す。写真-3. 3. 15. 9には、被覆層欠陥部の剥離後外観と被覆層下端部を示す。

表-3. 3. 15. 5 人工線状欠陥部および被覆層下端部の剥離距離

部位	最大剥離幅(片側) (mm)	平均剥離幅(片側) (mm)
飛沫部(線状傷)	31.8	15.6
干満部(線状傷)	14.5	8.3
海中部(被覆下端)	7.5	4.0

表-3. 3. 15. 6 人工欠陥部周辺の最大・平均板厚減少量 (mm/10年)

部位	傷部	傷部+5mm	傷部+10mm	傷部+15mm
飛沫部(線状傷)	0.80 (0.56)	0.34 (0.16)	0.085 (0.021)	≒0
干満部(線状傷)	1.37 (0.75)	0.2 (0.01)	≒0	≒0

()内数値は平均値

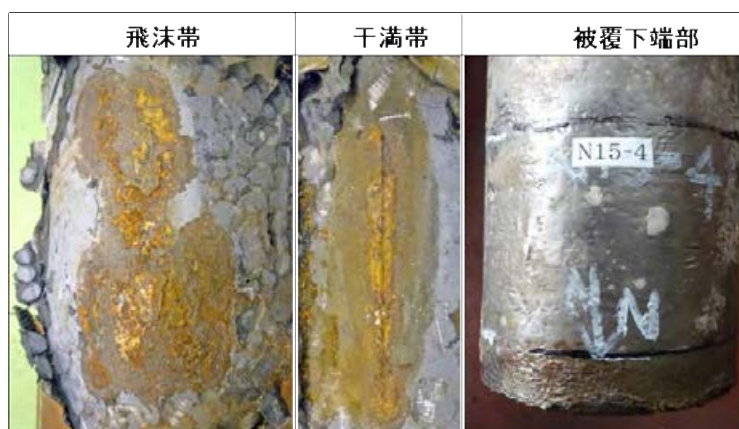


写真-3. 3. 15. 9 人工線状欠陥部の剥離後の外観と被覆下端部の外観

人工線状欠陥部の剥離幅は、干満部では傷の上部と下部で差が認められ、上部のほうがより剥離(錆層侵入)が大きかく、ばらつきが大きかった。飛沫部と干満部では飛沫部で大きく、平均で年間 1.5mm 程度の剥離が認められた。線状傷周辺の板厚減少量では、飛沫部に比較して干満部は大きく減少しており、平均で約 10 倍の差が生じたが、これは電気防食の影響と考えられる。傷部は、初期線状傷の深さが正確には把握できていないが、傷部周辺の腐食減量は、最大で 0.14mm/10 年と非常に小さく良好な結果を示した。

表-3.3.15.7 には、人工欠陥部(衝撃痕)の板厚減少量の測定結果を示す。

表-3.3.15.7 人工欠陥部(衝撃痕部)・平均板厚減少量 (mm/10 年)

部位	傷部直下	傷部+5mm
飛沫部(打撃痕)	≒0	≒0
干満部(打撃痕)	≒0	≒0

打撃痕下には、腐食は観察されなかった。板厚減少量もそれにより殆ど観察されなかったので、表層のチタン層あるいは、ポリウレタン層でダメージが吸収できる欠陥については、板厚減少は起きないと考えられる。

3.3.15.3 N-15 材まとめ

試験材 N-15 について、以下の事が判った。

- (1) チタン/ポリウレタン複合は 10 年経過後も概ね健全であった。ただし、チタン層継ぎ目を保護するシール材の脱落が飛沫部～海中部で観察された。また人工的な打撃痕では、チタン層の貫通傷が認められたが、防食層の貫通はなく鋼管は健全であった。
- (2) チタン層、ポリウレタン層の接着強度は、尚健全なレベルを保持しており、初期と大差はない。
- (3) 人工線状欠陥部、被覆層下端部では、傷周りの剥離が認められた。剥離は、その平均値で飛沫部 > 海中部 > 干満部であった。その速度は、最大(飛沫部)で約 2.2mm/y 程度、平均で 1.2mm/y 程度である。
- (4) 人工線状欠陥部周辺の剥離部では飛沫部で若干の板厚減少が観察されたが、10 年間で最大 0.8mm 程度であり極軽微であった。干満部では人工欠陥部周辺の板厚減少量が 1.4mm/10 年程度あり同様に 10 年あたりでは軽微であったが、飛沫部よりも大きい。また剥離が進展しても被覆層が残存することで鋼材の腐食が抑制されることが判った。ただし、鋼に達する人工欠陥部は、早期に補修されるのが防食上好ましい。10 年経過後も、剥離、板厚減少は傷部を除きその周囲では裸鋼材よりは、かなり小さい。
- (5) 人工欠陥(打撃痕部)は、被覆層を貫通する傷ではなく、腐食による板厚減は認められなかった。チタン層を貫通しても鋼に貫通しない打撃痕は 10 年程度は充分防食されえりと考えられる。

3.3.16 試験材 N-16 (新規暴露材)

3.3.16.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.16.1、外観スケッチを図-3.3.16.1に示す。

飛沫帯にあるチタン被覆部は試験材上部からのもらい錆による変色(全体的に金色～茶褐色)が見られたが、被覆層に異状は認められなかった。T.P.+1300のスクラッチ傷については、異状は見られなかった。T.P.+1300の衝撃痕部については、チタン箔被覆の一部に亀裂が見られた。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけてフジツボ類が付着していたが、干満帯中部以深では一部脱落し、チタン面が多く露出していた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.16.2および写真-3.3.16.3、外観スケッチを図-3.3.16.2に示す。

T.P.+500のスクラッチ傷については、傷部内への海生生物の侵入が見られ、傷部の開きとチタン箔被覆の浮きが認められた。T.P.+500の衝撃痕部については、異状は見られず、健全な状態であった。チタン箔被覆の接合部には、干満帯から海中部においてシール部のシーラントが劣化し、部分的に脱落した箇所が多く見られ、特に干満帯の脱落した箇所ではチタン箔被覆がめくれ上がり、鋼材面が露出した状態も認められた。その他のチタン箔被覆の一般部については、海生生物付着下においてもすきま腐食等の局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

(3) 電位測定

試験材の電位測定結果を表-3.3.16.1に示す。

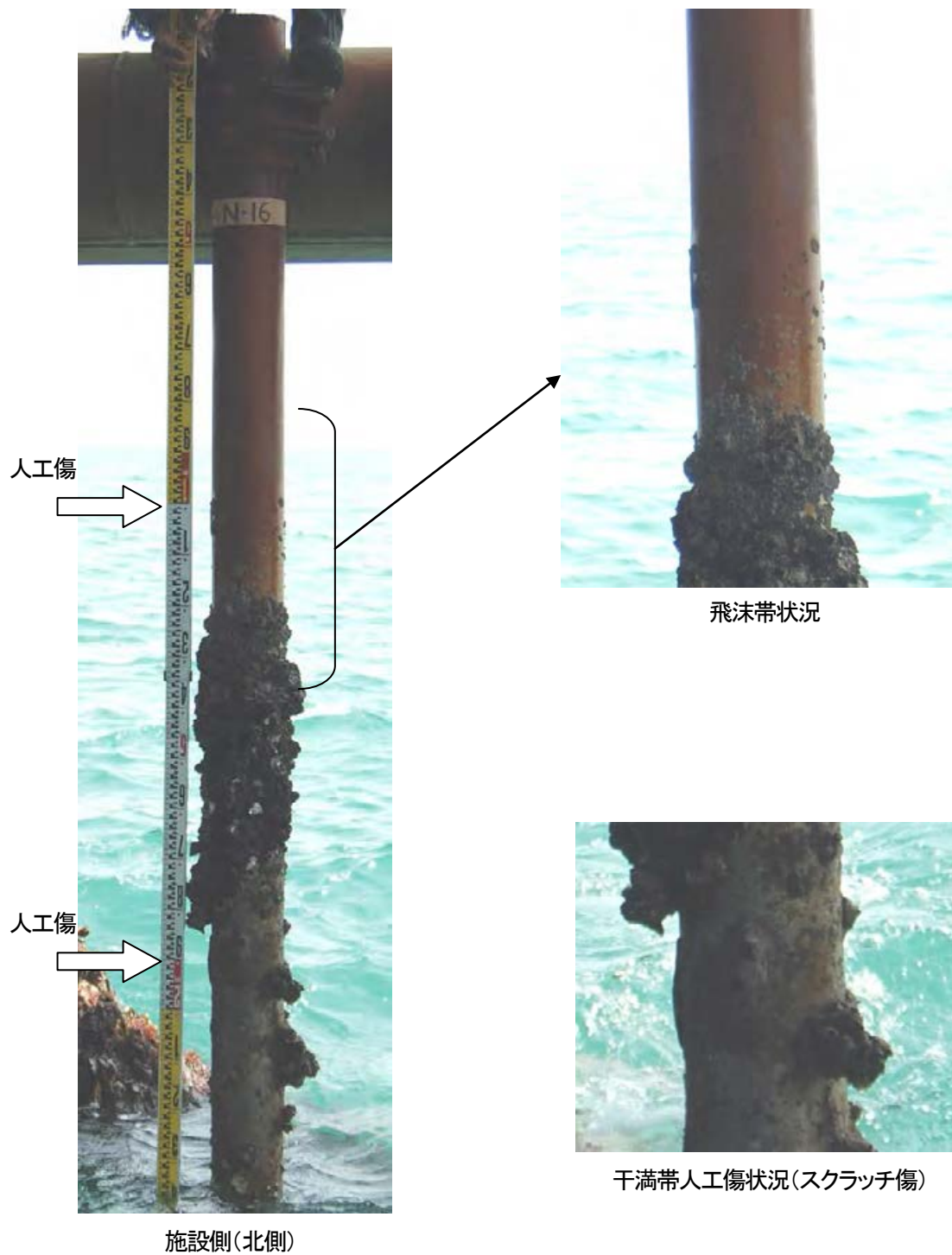
今回(2013年)、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-1084～-1093mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態にあることが確認された。

表-3.3.16.1 試験材 N-16 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-1080	-1080	-1080	-1080	-1080
2008年	—	-1093	-1094	-1093	-1095	-1094
2011年	-1080	-1085	-1085	-1085	-1086	-1084
2013年	-1087	-1093	-1087	-1084	-1086	-1087

(4) アルミニウム合金陽極の消耗量測定

試験材のアルミニウム合金陽極の消耗量測定結果を表-3.3.16.2、写真-3.3.16.4に示す。

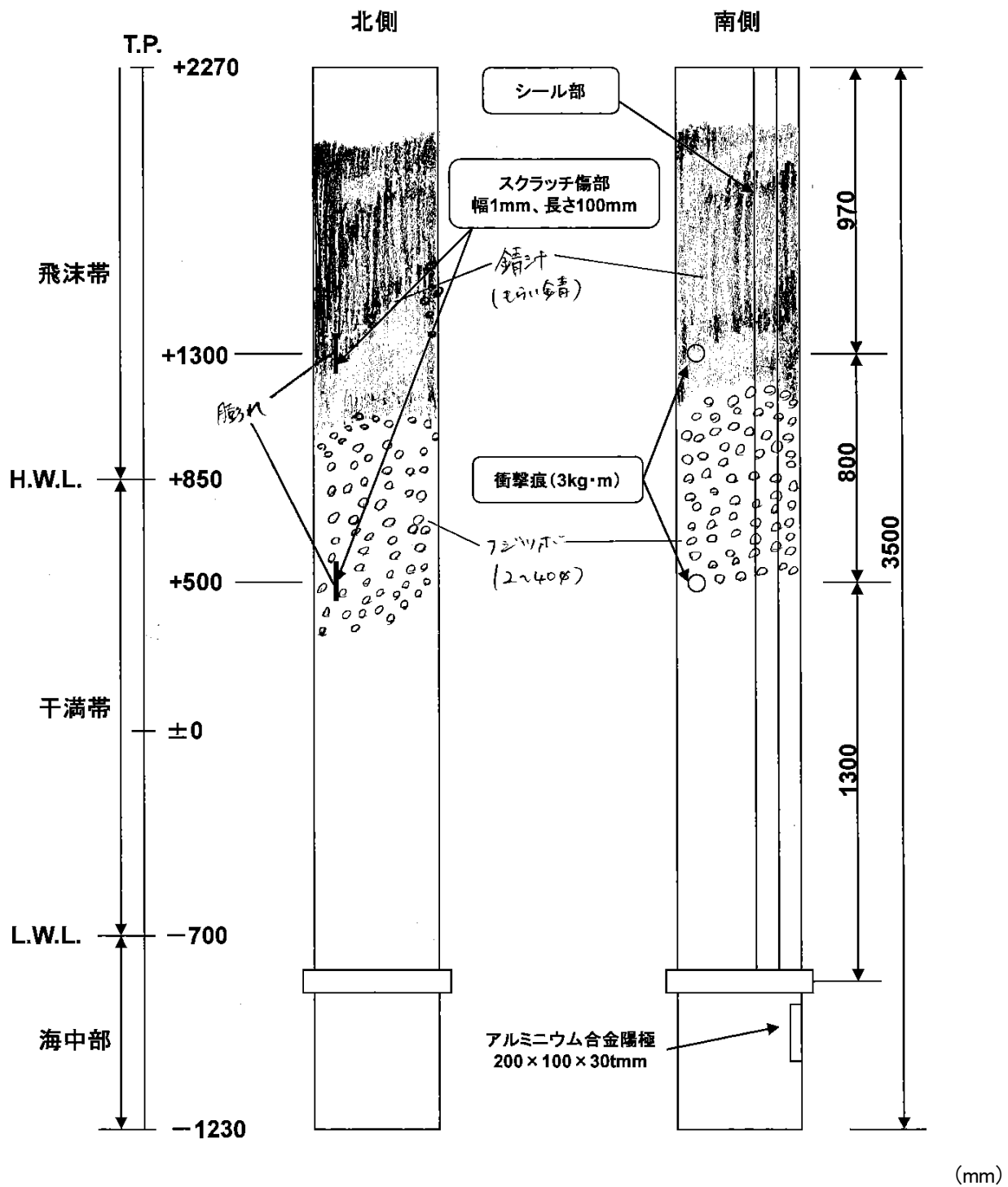


新規暴露試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）＋アルミニウム合金陽極

写真-3.3.16.1 試験材 N-16 海生生物除去前の外観状況写真

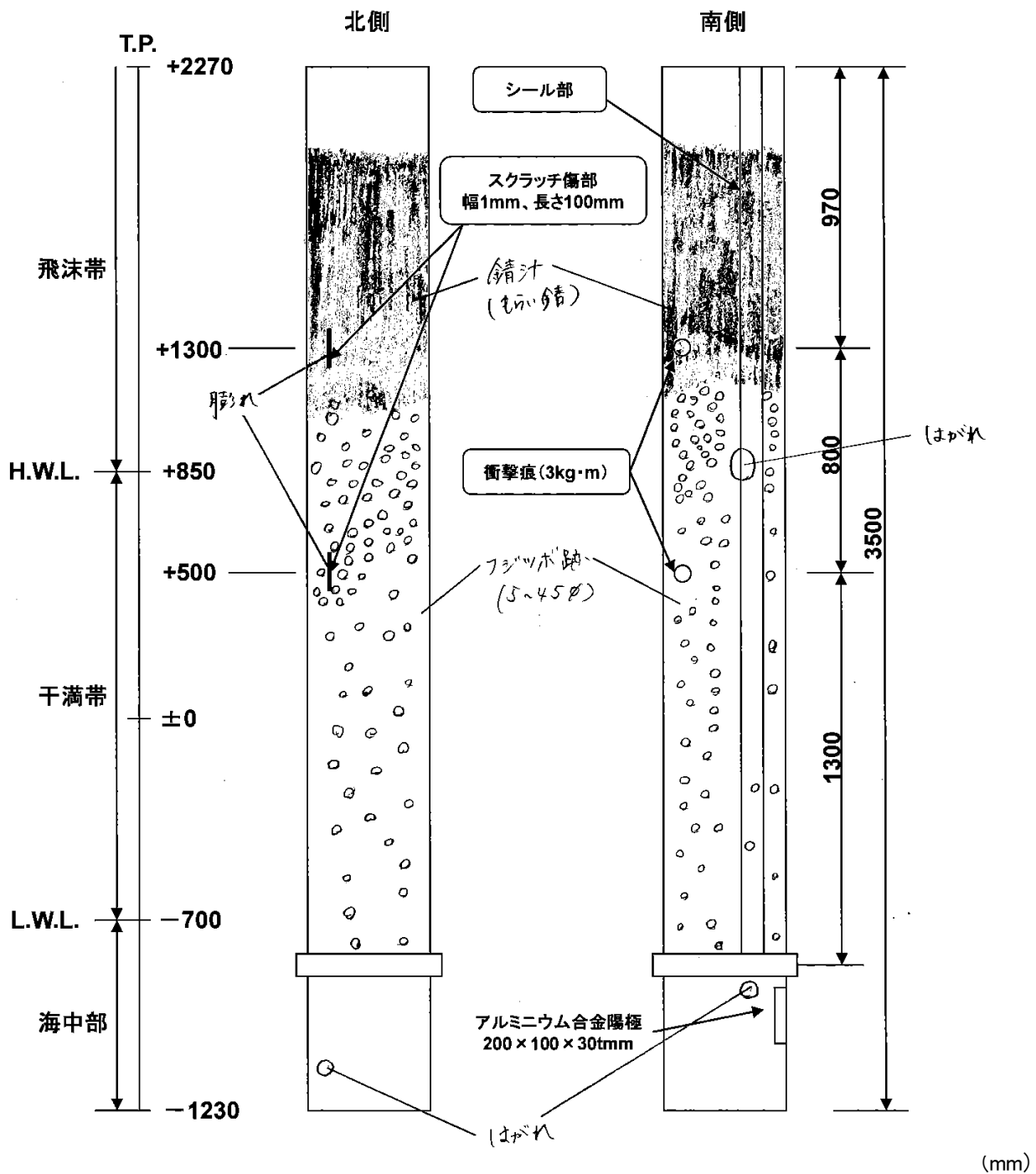


新規暴露試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.16.1 試験材N-16 海生生物除去前の外観図



新規暴露試験材

防食系：ポリウレタン被覆＋チタン箔被覆＋電気防食

防食仕様：ポリウレタン被覆（2mm）＋粘着剤＋チタン箔（0.1mm）＋アルミニウム合金陽極

図-3.3.16.2 試験材N-16 海生生物除去後の外観図



①スクラッチ傷部(浮きなどの異状は認められない)



②スクラッチ傷部(海生生物が侵入しチタン箔に浮きが認められる)



③海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められない



④被覆端部のシール材に一部欠損が認められる



・干満帯のスクラッチ傷部には海生生物(フジツボ類)の侵入、成長に伴うチタン箔の浮きと傷部の拡大が認められる。
 ・試験材の一般部には海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系:ポリウレタン被覆+チタン箔被覆+電気防食

防食仕様:ポリウレタン被覆(2.2mm)+Ti(0.1mm)+アルミニウム合金陽極

写真-3.3.16.2 試験材 N-16 の海生生物除去後の外観 (北側)



①衝撃痕(一部チタン箔に亀裂あり)



②シール材の機能低下(劣化)によるチタン箔の剥離が認められる(約130mm)



③衝撃痕部(異状なし)



・シール材の機能低下(劣化)によるチタン箔の接合部の剥離が部分的に認められ、剥離箇所には海生生物が侵入、成長しチタン箔の剥離が進展していると考えられる。

新規試験材

防食系:ポリウレタン被覆+チタン箔被覆+電気防食

防食仕様:ポリウレタン被覆(2.2mm)+Ti(0.1mm)+アルミニウム合金陽極

④全体的にシール材の部分欠損が認められる



⑤アルミニウム合金陽極の消耗状況



写真-3.3.16.3 試験材 N-16 の海生生物除去後の外観 (南側)

表-3. 3. 16. 2 試験材 N-16 のアルミニウム合金陽極の形状・消耗量

		陽極寸法(mm)			陽極質量(kg)			(kg/y)
測定年度	測定方向	厚さ(c)	縦(b)	横(a)	製品質量	残存質量	消耗質量	消耗速度
2013年	南	41	70	150	1.07	0.93	0.14	0.014

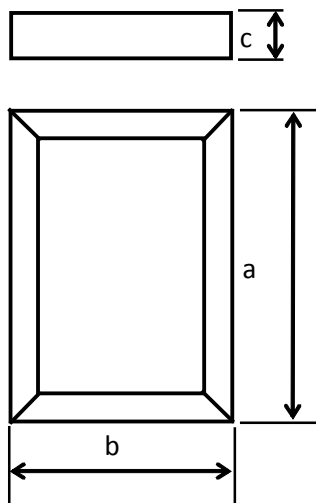


写真-3. 3. 16. 4 試験材 N-16 のアルミニウム合金陽極の外観

3. 3. 16. 2 詳細調査

3. 3. 16. 2. 1 詳細調査方法

(1) 外観観察

全体外観を実験室にて4方向から観察を行ない、写真撮影を実施した。また、人工欠陥部(線状傷、衝撃痕)部も別途観察し、写真撮影を実施した。

(2) チタン層接着強度(90度剥離強度)の測定

飛沫部(下端より2100mm)、干満上部(下端より1200mm)、干満下部(下端より900mm)、海中部(下端より300mm)の位置について、試験材の一部を強制的に剥離し、引張試験機により10mm/minの引張速度で剥離したときの反力から90度剥離強度を測定した。測定は室温(23~25℃)で実施した。また剥離後のチタン層の厚みをマイクロメーターで計測した。

(3) ポリウレタン層の付着強度(Pull-off法)

チタン層を剥離した下層のポリウレタン層の付着強度を、Pull-off 法にて測定した。測定は、Adhesion tester を使用して常温で行い、(2)項と同様の場所の接着強度を計測した。また、チタン層下のポリウレタン層の厚みを電磁膜厚計にて計測した。

(4) 人工欠陥部および被覆端部の被覆層の状況

人工欠陥部の周囲および被覆層下端部について、周囲の被覆層を一部剥離することでそのダメージ範囲・錆侵入距離を測定した。また傷部の板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターにて板厚を計測した。また、人工欠陥部(衝撃痕)では、被覆層を剥離し、板厚減少量を酸洗後にマイクロメーターで計測した。

3.3.16.2.2 詳細調査結果

(1) 外観観察結果

写真-3.3.16.5～3.3.16.8 に外観写真を示す。チタン層の大きな脱落はないが、一部チタン層被覆継ぎ目部分のシール材が脱落しており、チタン層先端の剥離が極わずかに認められる。写真-3.3.16.9 には、飛沫部、干満部に設けた人工線状欠陥部および打撃痕部の外観を示す。人工線状欠陥部では、傷が鋼に達しているため傷部が腐食しており、その錆層の盛り上がりを観察され、特に干満部において著しい。そのため一部の被覆層が一部で浮いているのが観察された。打撃痕については大きな変化はなく、劣化も認められない。

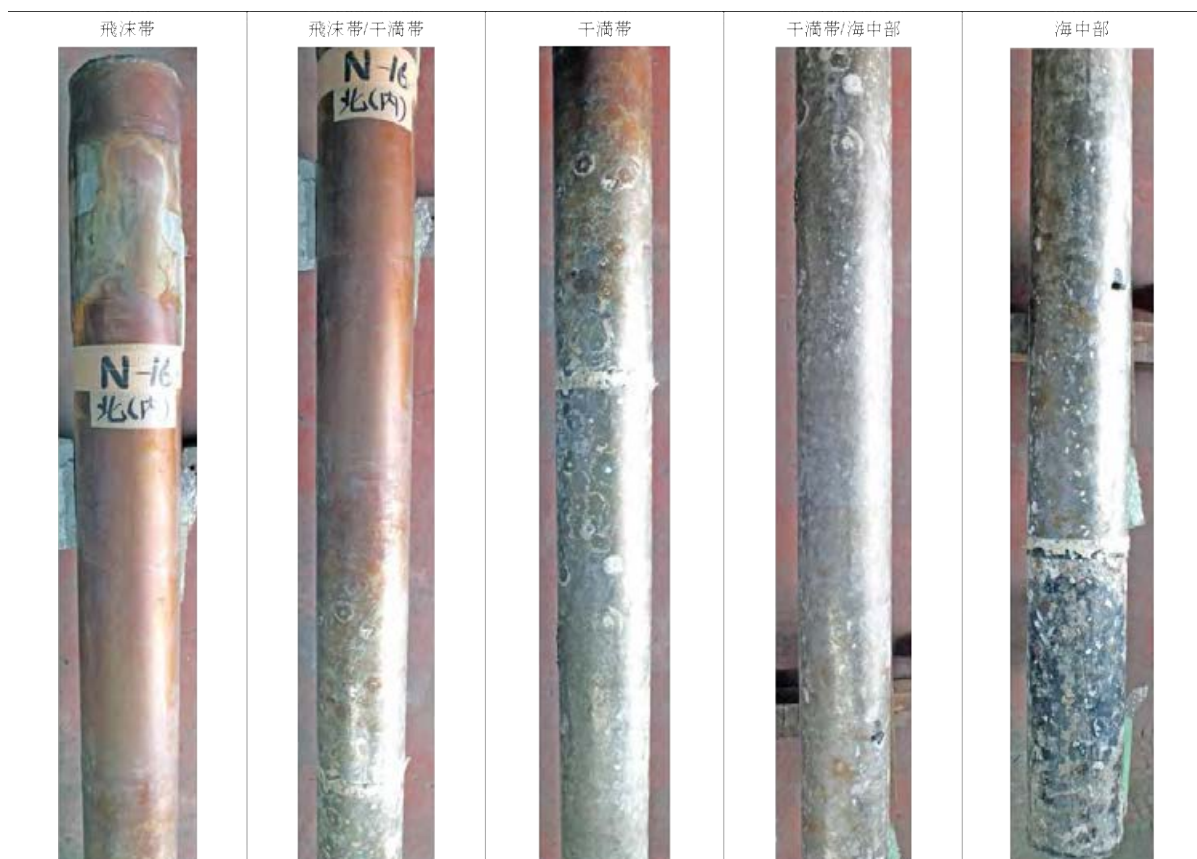


写真-3.3.16.5 N-16 試験材(西側)の各部(飛沫部～海中部の外観)



写真-3.3.16.6 N-16 試験材(南側)の各部(飛沫部～海中部の外観)

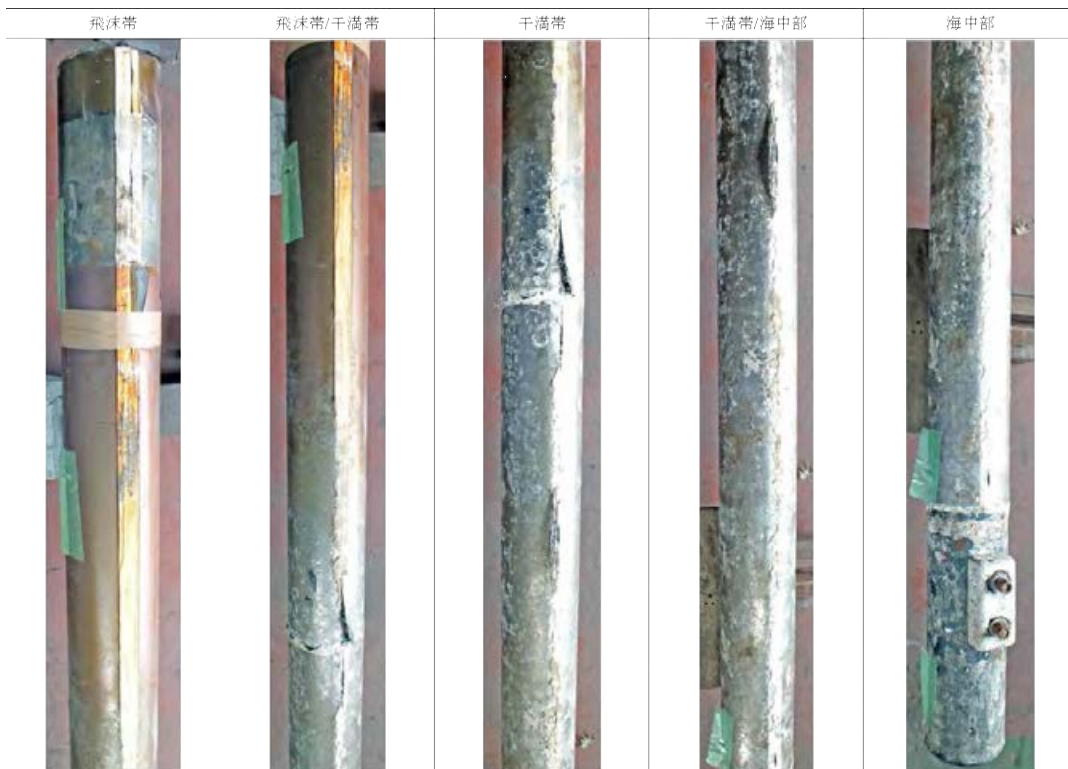


写真-3.3.16.7 N-16 試験材(北側)の各部(飛沫部～海中部の外観)



写真-3.3.16.8 N-16 試験材(東側)の各部(飛沫部~海中部の外観)

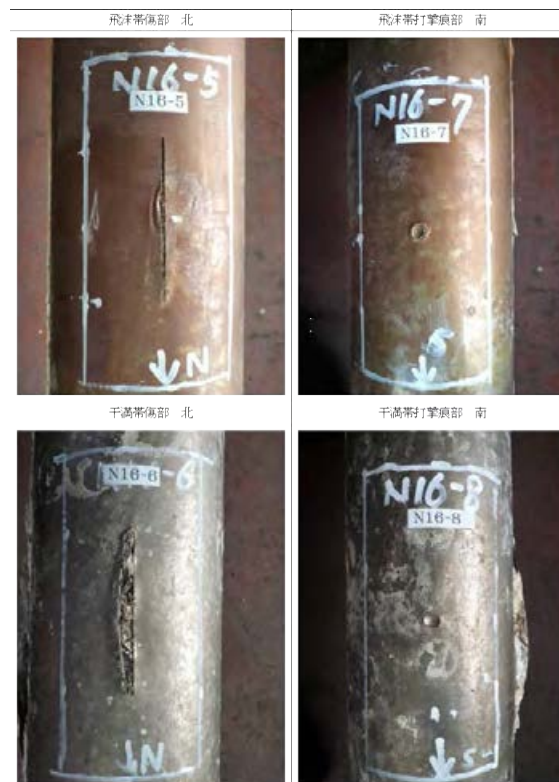


写真-3.3.16.9 試験材 N-16 の人工線状欠陥部および打撃痕部の外観

(2) チタン層の接着強度測定結果(90度剥離強度)

表-3.3.16.3に、各部のチタン層の接着強度測定結果、および表-3.3.16.4にチタン層厚を示す。

表-3.3.16.3 N-16試験材の各部のチタン層接着強度

部位	チタン層接着強度(N/cm)	剥離部位
飛沫部	25.5	粘着材凝集破壊
干満部(上部)	24.6	粘着材凝集破壊
干満部(下部)	26.3	粘着材凝集破壊
海中部	24.8	粘着材凝集破壊

表-3.3.16.4 N-16試験材の各部のチタン層厚

部位	チタン層厚み(μm)
飛沫部	108
干満部(上部)	108
干満部(下部)	112
海中部	112

チタン層の接着強度は、部位により大きな差はなくいずれも25N/cm前後を示し、初期の付着強度(25N/cm)からは大きな変化はなく、チタン/PU層間の付着強度は保持されていたと考えられる。また、チタン層の厚みは、当初(100μm)から変化なく、チタン層の明確な損耗も認められなかった。

(3) ポリウレタン層の接着強度の測定結果(Pull-off法)

表-3.3.16.5に、各部のチタン層下に位置するポリウレタン層の接着強度測定結果を示す。また表-3.3.16.6にはポリウレタン層厚測定結果を示す。

表-3.3.16.5 N-16試験材の各部のポリウレタン層接着強度

部位	チタン層接着強度(MPa)	剥離部位
飛沫部	3.5	ポリウレタン凝集破壊
干満部(上部)	4.0	ポリウレタン凝集破壊
干満部(下部)	4.0	ポリウレタン凝集破壊
海中部	3.8	ポリウレタン凝集破壊

ポリウレタン層の接着強度測定時の破壊界面は、全てポリウレタン層の凝集破壊であり、3.5MPa以上の接着強度を有しており、大きな接着劣化は認められなかった。

表-3.3.16.6 N-16 試験材の各部のポリウレタン層厚

部位	ポリウレタン層厚 (mm)
飛沫部	2.34
干満部(上部)	2.36
干満部(下部)	2.39
海中部	2.44

ポリウレタン層は、2.3～2.4mm程度であり、当初の厚みから大きな変化はない。

(4) 人工欠陥部、被覆端部の被覆層の状況

表-3.3.16.7 に、人工欠陥部および被覆層下端における最大剥離幅および平均剥離幅を示す。また表-3.3.16.8には、人工欠陥部およびその周囲の最大板厚減少量を示す。写真-3.3.16.10には、線状欠陥部の剥離後の外観と被覆層下端の外観を示す。

表-3.3.16.7 人工線状欠陥部および被覆層下端部の剥離距離

部位	最大剥離幅(片側) (mm)	平均剥離幅(片側) (mm)
飛沫部(線状傷)	24.5	10.8
干満部(線状傷)	12.5	2.3
海中部(被覆下端)	11.8	3.7

表-3.3.16.8 人工欠陥部周辺の最大・平均板厚減少量 (mm/10年)

部位	傷部	傷部+5mm	傷部+10mm	傷部+15mm
飛沫部(線状傷)	1.38 (0.68)	0.12 (0.07)	≒0.05 (0.03)	≒0
干満部(線状傷)	0.17 (0.06)	0.06 (0.01)	≒0	≒0

()内数値は平均値

人工線状欠陥部の剥離幅は、干満部では傷の上部と下部で差が認められ、上部のほうがより剥離(錆層侵入)が大きく、ばらつきが大きかった。飛沫部と干満部では飛沫部で大きく、平均で年間1mm程度の剥離が認められた。線状傷周辺の板厚減少量では、飛沫部に比較して干満部は大きく減少しており、平均で約10倍の差が生じたが、これは電気防食の影響と考えられる。傷部は、初期線状傷の深さが正確には把握できていないが、傷部周辺の腐食減量は、最大で0.12mm/10年と非常に小さく良好な結果を示した。

表-3.3.16.19には、人工欠陥部(衝撃痕)の板厚減少量の測定結果を示す。

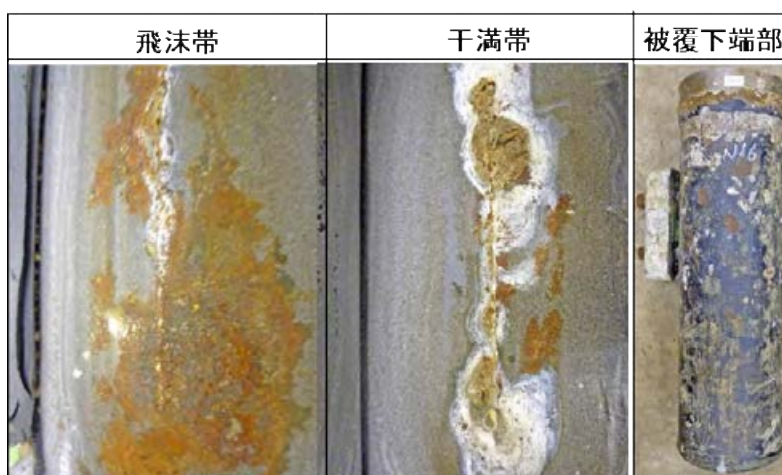


写真-3.3.16.10 線状傷剥離後の外観と被覆下端部の状況

表-3.3.16.9 人工欠陥部(衝撃痕部)・平均板厚減少量 (mm/10年)

部位	傷部直下	傷部+5mm
飛沫部(打撃痕)	≒0	≒0
干満部(打撃痕)	≒0	≒0

打撃痕下には、腐食は観察されなかった。板厚減少量もそれにより殆ど観察されなかったため、表層のチタン層あるいは、ポリウレタン層でダメージが吸収できる欠陥については、板厚減少は起きないと考えられる。

3.3.16.3 N-16材のまとめ

試験材N-16について、以下の事が判った。

- (1)チタン/ポリウレタン複合は10年経過後も概ね健全であった。ただし、チタン層継ぎ目を保護するシール材の脱落が飛沫部～海中部で観察された。
- (2)チタン層、ポリウレタン層の接着強度は、尚健全なレベルを保持しており、初期と大差はない。
- (3)人工線状欠陥部、被覆層下端部では、傷周りの剥離が認められた。剥離は、その平均値で飛沫部>海中部>干満部であった。その速度は、最大(飛沫部)で約1.7mm/y程度、平均で1.0mm/y程度である。
- (4)人工線状欠陥部周辺の剥離部では飛沫部で若干の板厚減少が観察されたが、10年間で0.12mm程度であり極軽微であった。干満部では人工欠陥部周辺の板厚減少量が殆どなかったが、これは電気防食の効果と考えられる。ただし、鋼に達する人工欠陥部は、早期に補修されるのが防食上好ましい。ただし10年程度経過後も、剥離、板厚減少は傷部を除きその周囲では裸鋼材よりは、かなり小さい。
- (5)人工欠陥(打撃痕部)は、被覆層を貫通する傷ではなく、腐食による板厚減は認められなかった。鋼に貫通しない打撃痕は10年程度は十分防食されえると考えられる。

3.3.17 試験材 N-17

3.3.17.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.17.1、外観スケッチを図-3.3.17.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色が見られ、飛沫帯のチタン被覆部は全体で金色～茶褐色を、ポリウレタン被覆部は一部で茶褐色を呈していた。また、南側においてチタン被覆上側端部処理部のポリウレタン被覆の欠損が見られた。しかし、この部分は素管の防食に直接的に関与するものではなく、実際に起因する発錆は見られなかった。スクラッチ傷部については、T.P.+1800のポリウレタン被覆の傷部において、内部に腐食の発生が見られ、ポリウレタン被覆に若干浮きが認められた。T.P.+1300のチタン被覆部の傷部には海生生物の侵入が見られたものの、異状は認められなかった。衝撃痕部は、T.P.+1800のポリウレタン被覆部の方に微細な亀裂とわずかな錆汁が認められた。一方、T.P.+1300のチタン被覆部の方はフジツボ類が入り込んでいたが、異状は認められなかった。海生生物は、チタン被覆部のスクラッチ傷付近から干満帯上部にかけて多量のフジツボ類が付着している状態であった。それ以深の干満帯中間部は、付着量も少なく、チタン被覆面が多く露出していた。

(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.17.2、写真-3.3.17.3に、外観スケッチを図-3.3.17.2に示す。T.P.+500(干満帯)の位置にある補修部については、補修材および溶接部にすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、異状のないことが認められた。また、チタン被覆部の一般部および接合部(溶接部)も、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、異状のないことが認められた。

(3) 塗装部付着力測定

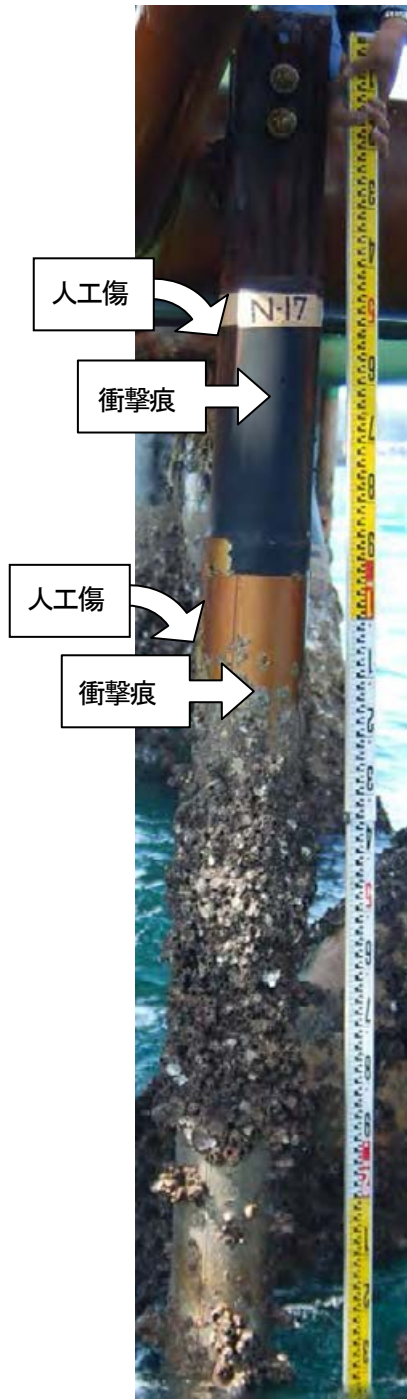
試験材の塗装部付着力測定結果を表-3.3.17.1に示す。測定された付着力は1.8～2.7MPa、破壊形態はポリウレタンの凝集破壊が主で、ポリウレタンと鋼材間での層間剥離は認められなかった。

(4) 交流インピーダンス測定

試験材の海上部における交流インピーダンス測定結果を表-3.3.17.2、図-3.3.17.3および図-3.3.17.4に、海中部の測定結果を表-3.3.17.3、図-3.3.17.5および図-3.3.17.6に示す。いずれの部位も $10^9 \Omega \cdot \text{cm}^2$ の高い交流抵抗値が維持されていた。

(5) 絶縁抵抗測定

試験材の絶縁抵抗測定結果を表-3.3.17.4、図-3.3.17.7に示す。



施設側(南側)



ポリウレタン被覆部の欠損状況



チタン被覆部の衝撃痕



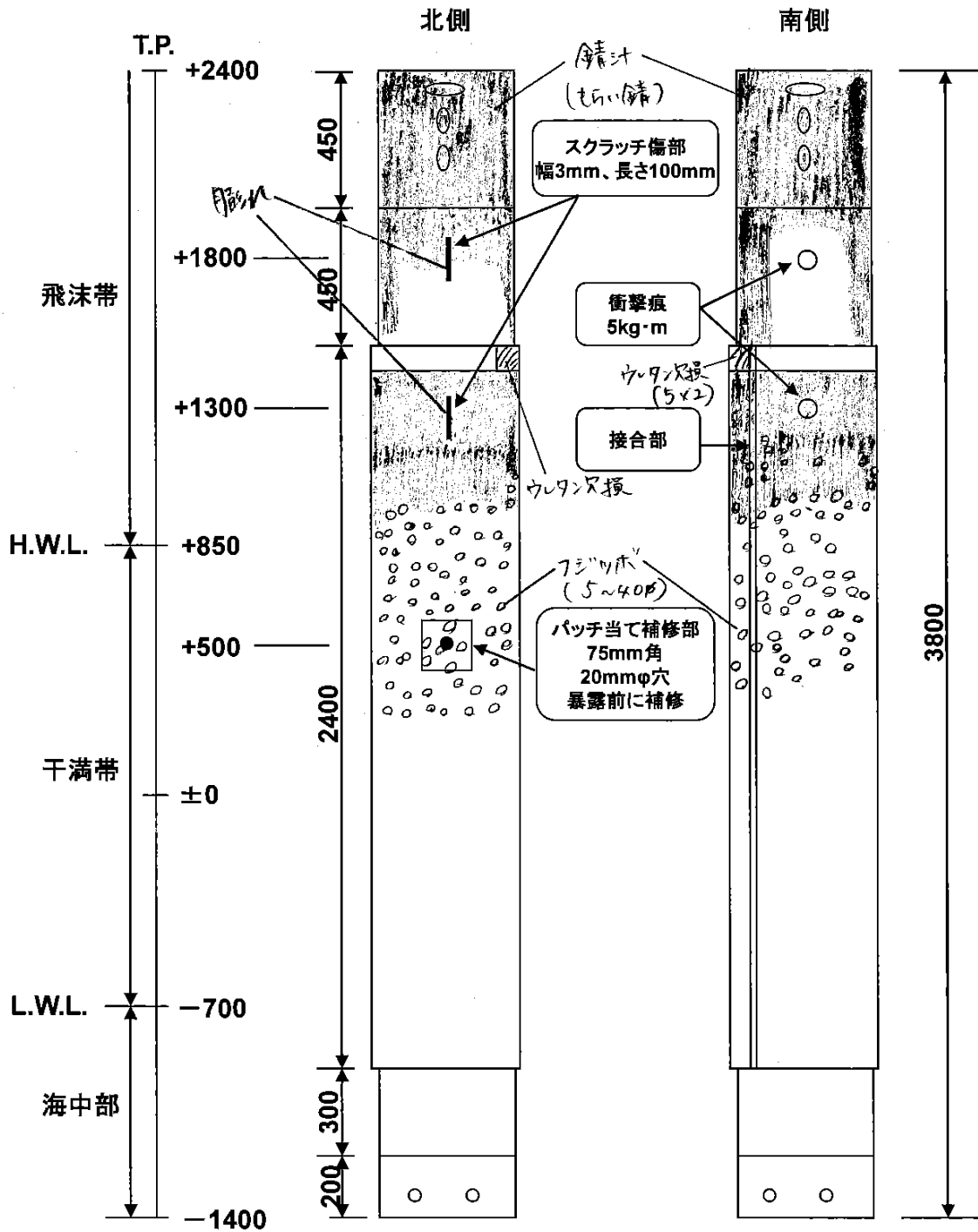
海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系:ポリウレタン被覆+チタン薄板被覆

防食仕様:ポリウレタン被覆(3.8mm)+粘着層(3.8mm)+チタン薄板(0.4mm)

写真-3.3.17.1 試験材 N-17 海生生物除去前の外観状況写真

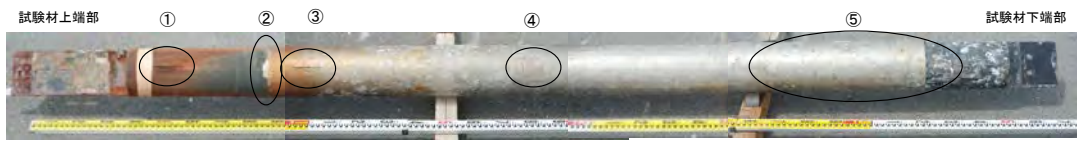


(mm)

防食系: ポリウレタン被覆 + チタン薄板被覆

防食仕様: ポリウレタン被覆 (3.8mm) + 粘着層 (3.8mm) + チタン薄板 (0.4mm)

図-3.3.17.1 試験材 N-17 海生生物除去前の外観図



①スクラッチ傷部(傷部内が発錆し塗膜が若干浮きが認められる)



②ポリウレタン被覆の欠損(約20×50mm)



③スクラッチ傷部(海生生物の侵入は見られるが異状はない)



④補修部(一般部、溶接部ともに異状なし)



⑤チタン被覆部の一般部(異状なし)



・チタン被覆部の一般部および溶接部には海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系: ポリウレタン被覆 + チタン薄板被覆

防食仕様: ポリウレタン被覆(3.8mm) + 接着層(3.8mm) + Ti(0.4mm)

写真-3.3.17.2 試験材 N-17 (北側) 海生生物除去後の外観状況



①衝撃痕部(塗膜に割れが生じ発錆が認められる)



②衝撃痕部(異状なし)



③一般部および溶接部(異状なし)



④チタン被覆部の一般部および溶接部(異状なし)



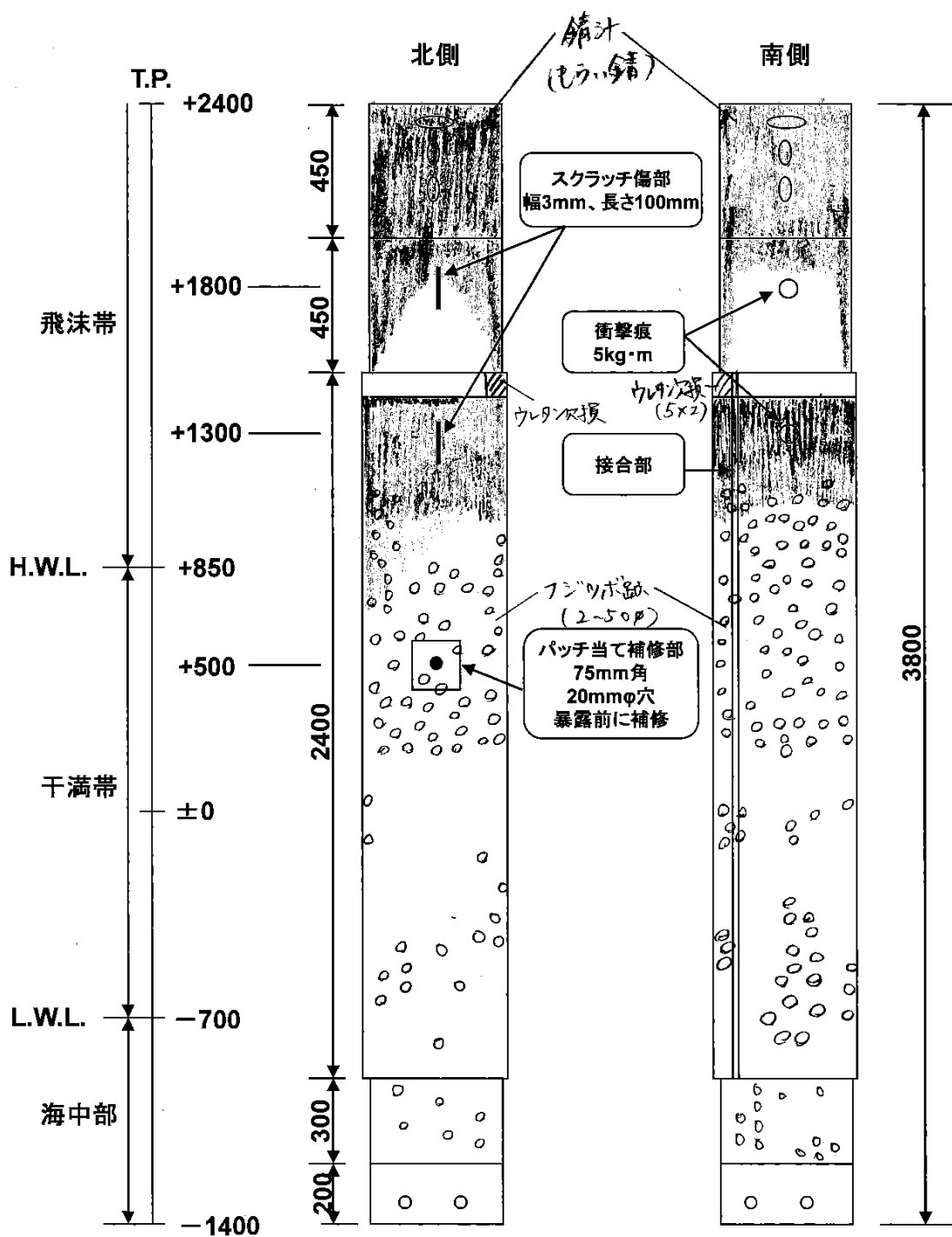
・チタン被覆部の一般部および溶接部には海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系: ポリウレタン被覆 + チタン薄板被覆

防食仕様: ポリウレタン被覆(3.8mm) + 接着層(3.8mm) + Ti(0.4mm)

写真-3.3.17.3 試験材 N-17 (南側) 海生生物除去後の外観状況



(mm)

防食系: ポリウレタン被覆+チタン薄板被覆

防食仕様: ポリウレタン被覆(3.8mm)+粘着層(3.8mm)+チタン薄板(0.4mm)

図-3.3.17.2 試験材 N-17 海生生物除去後の外観図

表-3.3.17.1 ポリウレタン塗装部の付着力測定結果

試験体No.	測定位置		付着力 MPa	剥離形態		試験面写真
				A	D	
N-17	①	南 T.P.+1.60m	2.0	A:30%	D:70%	
	②	南 T.P.+1.60m	2.7	D:100%		
	③	南 T.P.+1.60m	2.1	A:30%	D:70%	
	④	南 T.P.-1.00m	2.4	A:20%	D:80%	
	⑤	南 T.P.-1.00m	2.2	A:20%	D:80%	
	⑥	南 T.P.-1.00m	2.2	A:30%	D:70%	
⑦	北 T.P.+1.60m	1.8	A:30%	C:50%	D:20%	
⑧	北 T.P.+1.60m	2.5	A:50%	C:20%	D:30%	
⑨	北 T.P.+1.60m	2.5	A:100%			
⑩	北 T.P.-1.00m	2.0	D:100%			
⑪	北 T.P.-1.00m	2.2	D:100%			
⑫	北 T.P.-1.00m	2.0	D:100%			

試験面破壊形態
 A: 付着強度測定用ドーリー—接着剤間の層間剥離
 B: 接着剤の凝集破壊
 C: 接着剤—供試材間の層間剥離
 D: 供試材の凝集破壊
 E: 供試材—鋼材間での層間剥離

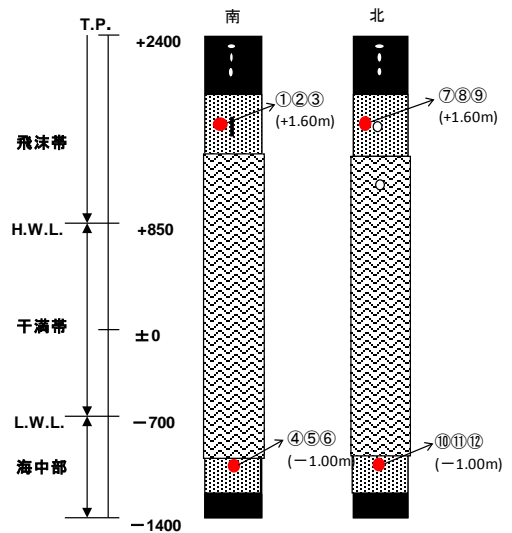
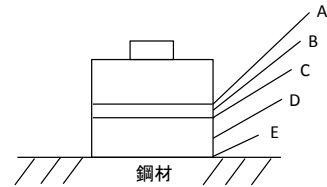


図 付着力測定位置図

表-3.3.17.2 交流抵抗値および静電容量の測定結果 (T.P.+1.60m)

N-17(T.P.+1.60m)							
測定方向	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			
	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
南面	1.22E+10	5.30E+09	2.10E+09	南面	25.1	24.2	23.7
北面	1.08E+10	3.98E+09	1.28E+09	北面	31.1	35.7	34.6

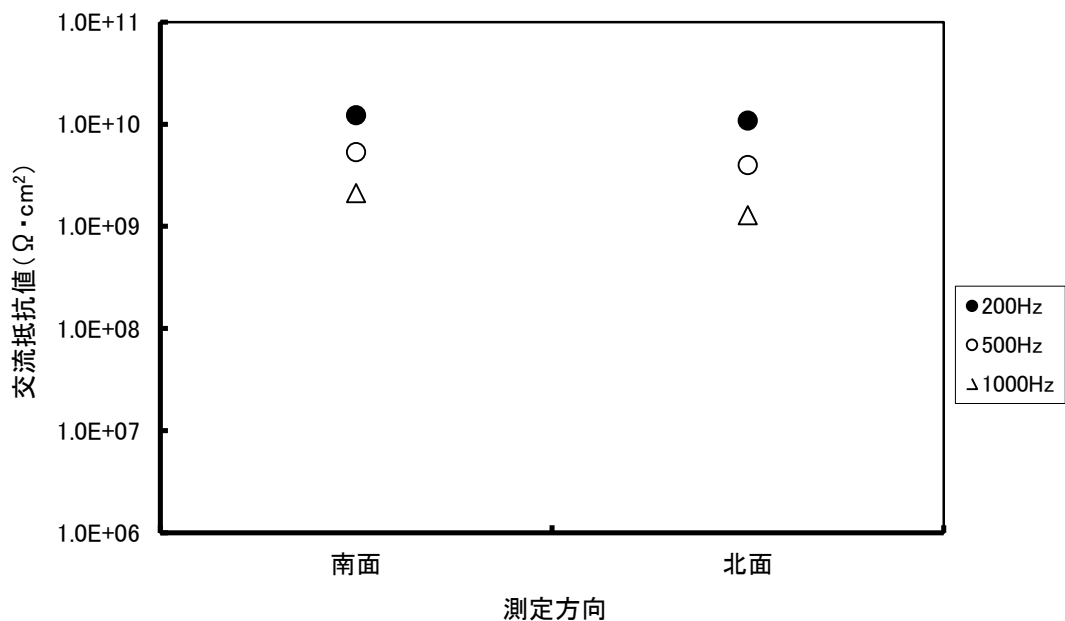


図-3.3.17.3 交流抵抗値の測定結果 (T.P.+1.60m)

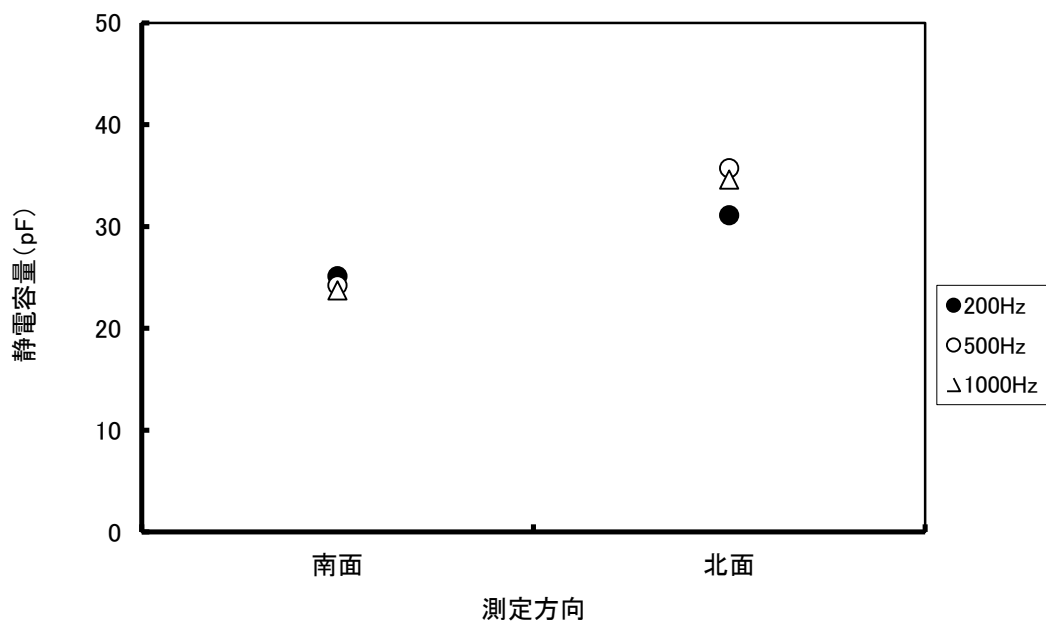


図-3.3.17.4 静電容量の測定結果 (T.P.+1.60m)

表-3.3.17.3 交流抵抗値および静電容量の測定結果 (T.P.-1.00m)

N-17(T.P.-1.00m)							
測定方向	交流抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)			静電容量 (pF)			
	200Hz	500Hz	1000Hz	測定方向	200Hz	500Hz	1000Hz
南面	6.18E+09	2.70E+09	1.34E+09	南面	44.7	43.3	42.4
北面	5.78E+09	2.80E+09	1.32E+09	北面	46.5	38.9	35.5

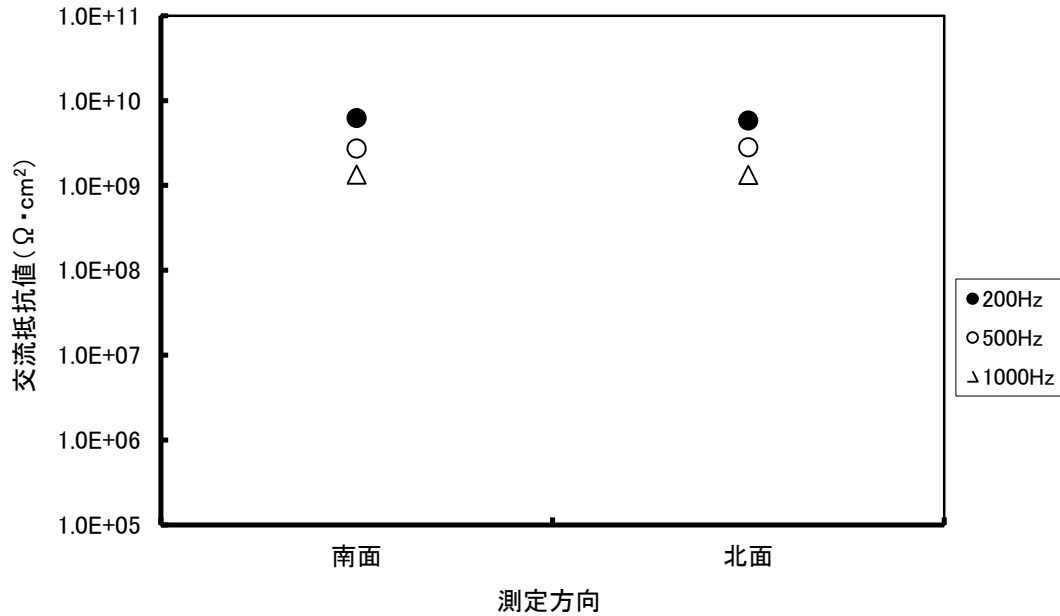


図-3.3.17.5 交流抵抗値の測定結果 (T.P.-1.00m)

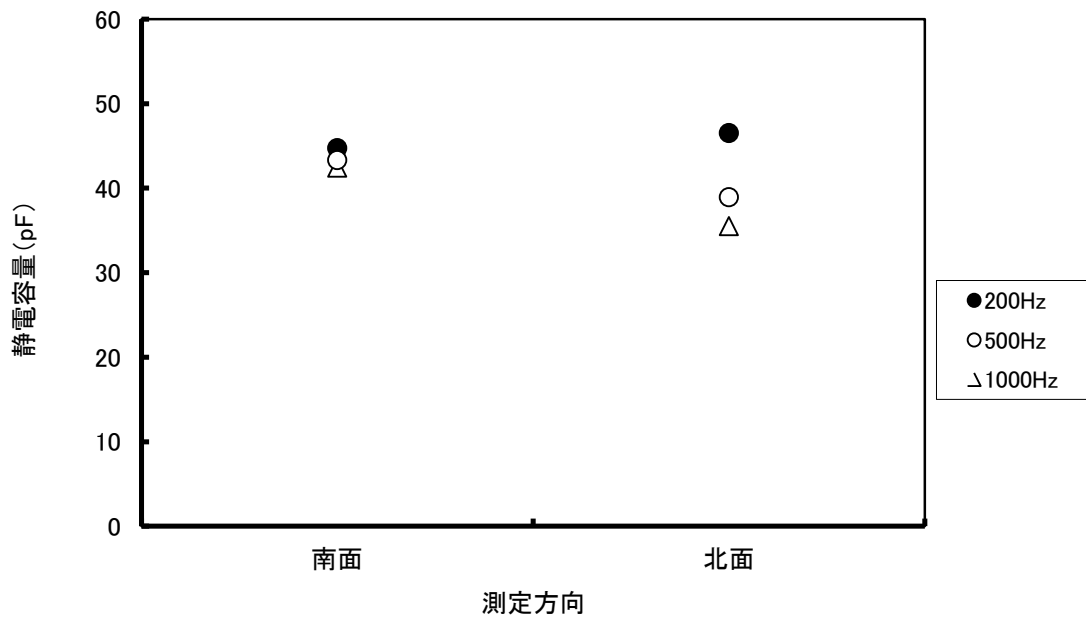


図-3.3.17.6 静電容量の測定結果 (T.P.-1.00m)

表-3.3.17.4 絶縁抵抗測定結果

測定年度	測定項目	絶縁抵抗 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	
		1分値	2分値
2013年	北T.P.+1.60m	1分値	8.00E+12
		2分値	1.00E+13
	南T.P.+1.60m	1分値	7.50E+12
		2分値	9.50E+12
	北T.P.-1.00m	1分値	>1.00E+13
		2分値	>1.00E+13
	南T.P.-1.00m	1分値	>1.00E+13
		2分値	>1.00E+13

注)

印加電圧: 500V(D.C)

1分値: 電圧印加後、1分後の測定値

2分値: 電圧印加後、2分後の測定値

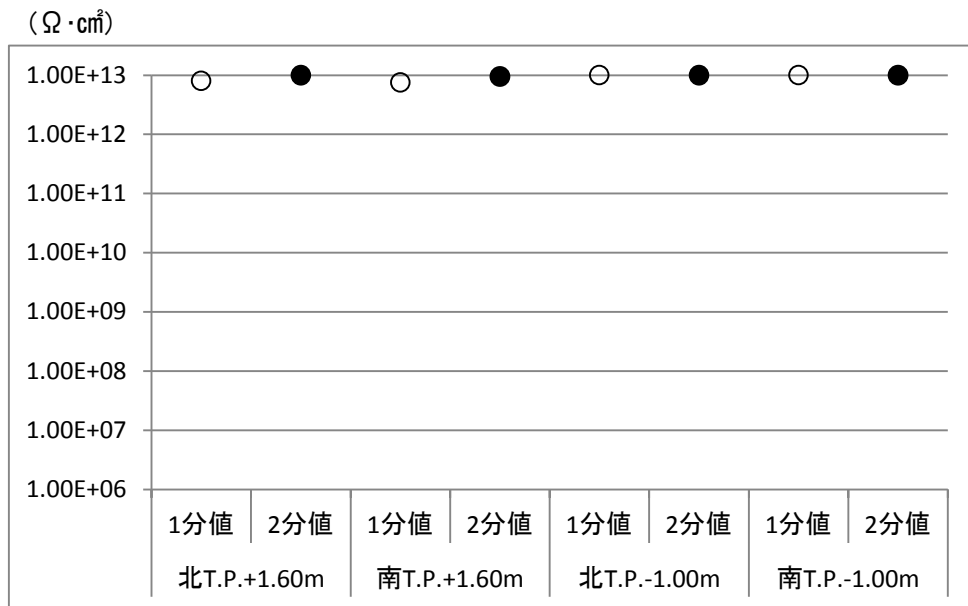


図-3.3.17.7 絶縁抵抗値

3.3.17.2 詳細調査

3.3.17.2.1 詳細調査方法

(1) 外観観察

試験材の外観観察を実験室にて4方向から行い、写真撮影を実施した。また、人工欠陥部(スクラッチ傷、衝撃痕)と補修部も別途観察し、写真撮影を実施した。

(2) チタン層接着強度の測定

飛沫帯部(下端より2800mm)、干満上部(下端より2000mm)、干満下部(下端より1200mm)、海中部(下端より600mm)の位置について、試験材の一部を強制的に剥離し、引張試験機により10mm/minに引張速度で剥離したときの反力から90度剥離強度を測定した。測定は室温(23~25℃)で実施した。また、剥離後のチタン層の厚みをマイクロメーターで計測した。

(3) ポリウレタン層の付着強度

チタン層を剥離した下層のポリウレタン層の付着強度を、Pull-off法にて測定した。測定は、Adhesion testerを使用して常温で行い、(2)と同様の場所で行った。

(4) 人工欠陥部、補修部および被覆端部の被覆層の状況

人工欠陥部と補修部については、被覆層周囲を一部剥離して鋼材面の腐食状況を確認した。さらに、人工欠陥部(スクラッチ傷)については、酸洗後にマイクロメーターを用いて鋼材の板厚を測定した。

3.3.17.2.2 詳細調査結果

(1) 外観調査結果

試験材の外観状況を写真-3.3.17.4~写真-3.3.17.7に、人工欠陥部、補修部および被覆下端部の状況を写真-3.3.17.8~写真-3.3.17.9に示す。

外観は前述の現地調査と同じで、チタン被覆部では、一般部、人工欠陥部、補修部の全てで異状は見られなかった。ポリウレタン部では、スクラッチ傷部内にわずかな発錆と塗膜に若干の浮き上がりが見られた。また、ポリウレタンの衝撃痕にはわずかな発錆が見られた。



写真-3.3.17.4 N-17 試験材(西側)の各部(飛沫部～海中部)の外観

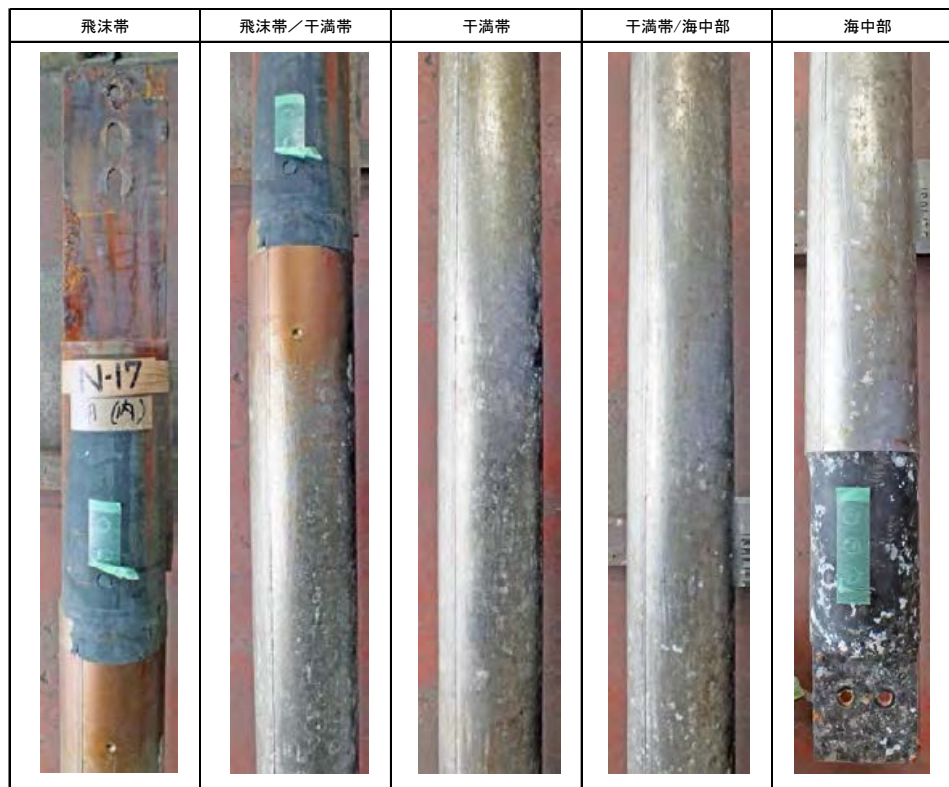


写真-3.3.17.5 N-17 試験材(南側)の各部(飛沫部～海中部)の外観

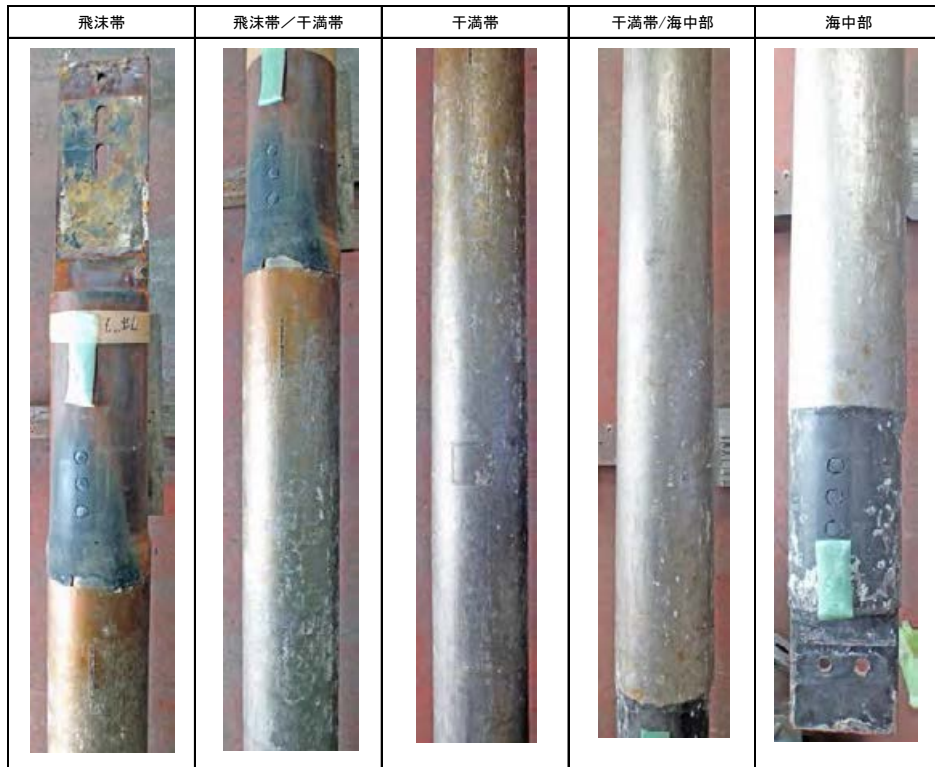


写真-3.3.17.6 N-17 試験材(北側)の各部(飛沫部～海中部)の外観

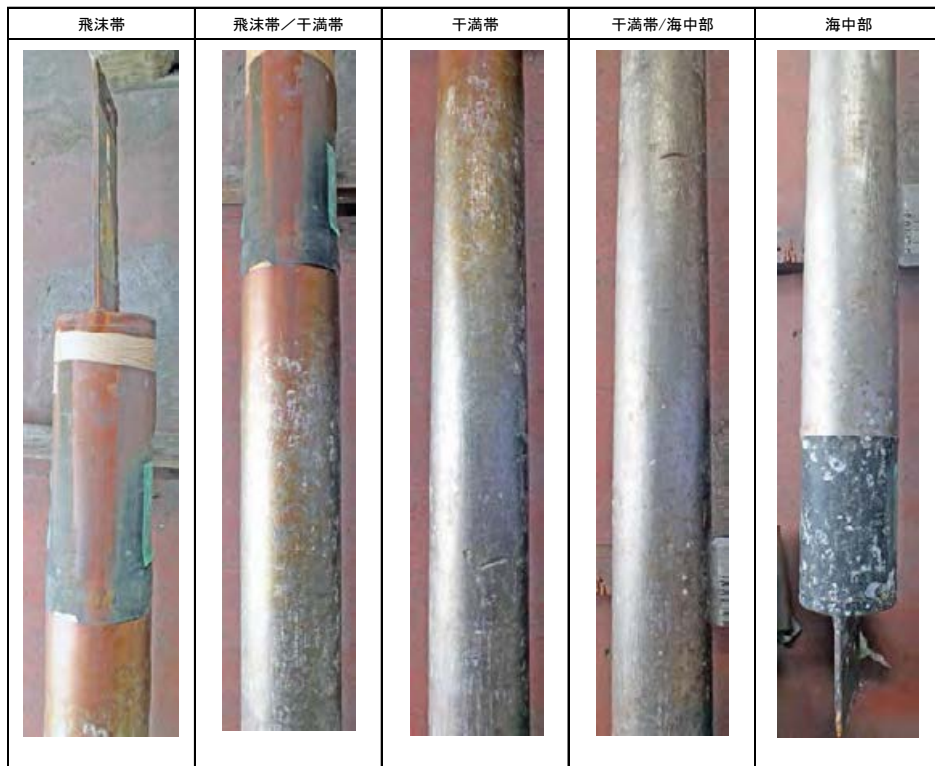


写真-3.3.17.7 N-17 試験材(東側)の各部(飛沫部～海中部)の外観



写真-3.3.17.8 N-17 試験材人工欠陥部の外観



写真-3.3.17.9 N-17 試験材の補修部、被覆下端部の外観

(2) チタン層の接着強度

表-3.3.17.5 に各部のチタン層の接着強度と厚みの測定結果を示す。

写真-3.3.17.10 に試験状況を、写真-3.3.17.11 に剥離面の状態を示す。

表 3.3.17.5 N-17 試験材のチタン層接着強度と厚み

部位	チタン層接着強度(N/cm)	チタン層の厚み(μm)
飛沫部	14.7	428
干満部(上部)	19.6	432
干満部(下部)	14.7	436
海中部	19.6	437

チタン層の接着強度は、15~20N/cm、チタン層の厚みは当初(400 μm)から減少しておらず、明確な損耗も認められなかった。

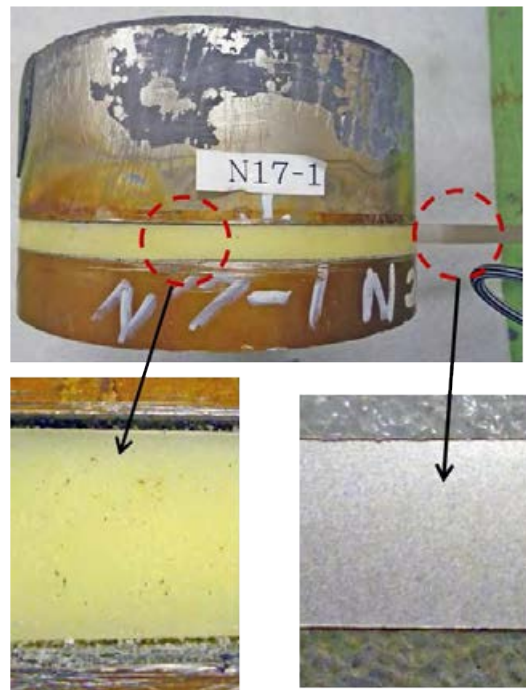


写真-3.3.17-10 測定状況

写真-3.3.17.11 剥離面の状況 (飛沫部)

(3) ポリウレタン層の接着強度

表-3.3.17.6 に各部のチタン層下に位置するポリウレタン層の接着強度測定結果を示す。

表-3.3.17.6 N-17 試験材のポリウレタン層接着強度

部位	ポリウレタン層の 接着強度(MPa)
飛沫部	4.5
干満部(上部)	3.5
干満部(下部)	4.8
海中部	4.5

ポリウレタン層の接着強度はいずれの部位でも 3.5MPa 以上有しており、また、破壊形態もポリウレタン層の凝集破壊であったことから、大きな接着劣化はなかったと推定される。

(4) 人工欠陥部、補修部および被覆下端部の被覆層の状況

人工欠陥部、補修部および被覆下端部の状況を写真-3.3.17.12～3.3.17.17 に示す。人工欠陥部と補修部については、被覆層周囲を一部剥離して腐食状況を確認した。

- ① 人工欠陥部（打撃痕）と補修部にはポリウレタン被覆の剥離や鋼材面の腐食は認められなかった。
- ② 被覆下端部においても被覆剥離などの異状は認められなかった。
- ③ 人工欠陥部（スクラッチ傷）の最大板厚減少量は、飛沫帯上部（ポリウレタン）で最大 2.69mm（平均腐食速度 0.27mm/年）、飛沫帯下部（ポリウレタン+チタン層）では最大 0.6mm（平均腐食速度 0.06mm/年）であった。



写真-3.3.17.12 人工欠陥部（打撃痕）の外観（飛沫帯上部）

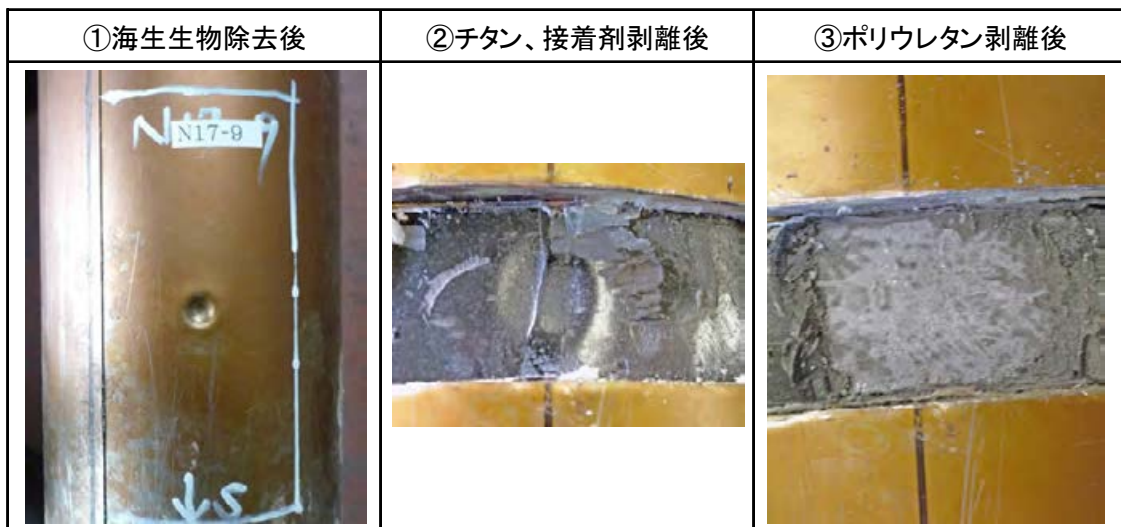


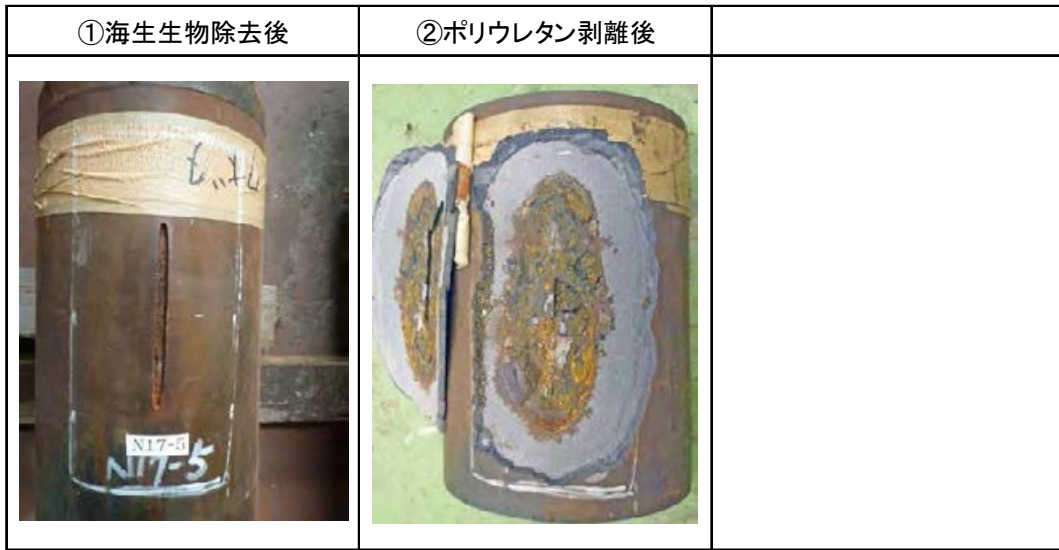
写真-3.3.17.13 人工欠陥部（打撃痕）の外観（飛沫帯下部）



写真-3.3.17.14 補修部の外観（干満帯）



写真-3.3.17.15 被覆下端部の外観（海中部）



③錆落とし後に計測した板厚減少量



記号N17-5 元厚	板厚(mm)	減少量(mm)	53	9.933	1.587
1	10.820	0.880	54	9.899	1.601
2	10.700	0.800	55	9.408	2.094
3	10.756	0.744	56	9.727	1.773
4	10.828	0.874	57	9.974	1.526
5	10.518	0.982	58	10.361	1.138
6	10.602	0.898	59	10.567	0.933
7	10.629	0.881	60	10.866	0.834
8	10.617	0.883	61	11.217	0.283
9	10.674	0.826	62	11.011	0.489
10	10.820	0.880	63	10.563	0.937
11	10.605	0.895	64	10.560	0.940
12	10.624	0.886	65	10.374	1.126
13	10.650	0.842	66	10.246	1.254
14	10.614	0.886	67	9.935	1.585
15	10.630	0.870	68	9.451	2.049
16	10.827	0.873	69	10.122	1.378
17	10.607	0.883	70	10.204	1.296
18	10.655	0.845	71	9.977	1.523
19	10.596	0.904	72	10.379	1.121
20	10.407	1.083	73	10.352	1.148
21	10.821	1.289	74	10.283	1.217
22	10.324	1.176	75	10.667	0.833
23	10.320	1.172	76	11.009	0.491
24	10.283	1.217	77	11.346	0.154
25	10.441	1.059	78	11.253	0.247
26	10.406	1.014	79	11.095	0.405
27	10.252	1.148	80	10.926	0.574
28	10.749	0.751	81	11.237	0.283
29	10.788	0.714	82	10.929	0.577
30	10.797	0.703	83	10.956	0.544
31	10.810	0.580	84	10.428	1.072
32	10.626	0.884	85	10.745	0.755
33	10.670	0.830	86	10.823	0.677
34	9.989	1.531	87	10.766	0.734
35	10.044	1.456	88	10.567	0.933
36	10.033	1.487	89	10.892	0.808
37	8.110	2.390	90	11.019	0.481
38	8.520	1.972	91	11.102	0.398
39	8.781	1.719	92	11.422	0.078
40	10.207	1.283	93	11.469	0.031
41	10.064	1.436	94	11.452	0.048
42	10.019	1.421	95	11.429	0.071
43	10.581	0.909	96	11.245	0.255
44	10.819	0.881	97	11.294	0.206
45	10.834	0.886	98	11.010	0.490
46	10.875	0.825	99	10.973	0.527
47	10.930	0.582	100	11.166	0.334
48	8.902	1.588	101	11.069	0.431
49	8.089	1.631	102	11.061	0.439
50	8.579	1.921	103	11.171	0.329
51	8.813	2.687	104	11.243	0.257
52	8.324	2.186	105	11.233	0.287

写真-3.3.17.16 人工欠陥部（スクラッチ傷）の状況と板厚減少量（飛沫帯上部）



③錆落とし後に計測した板厚減少量

記号N17-6	板厚(mm)	減少厚み(mm)
元厚	10.800	
1	10.730	0.070
2	10.679	0.121
3	10.520	0.280
4	10.439	0.361
5	10.527	0.273
6	10.678	0.122
7	10.572	0.228
8	10.387	0.413
9	10.329	0.471
10	10.433	0.367
11	10.635	0.165
12	10.685	0.115
13	10.662	0.138
14	10.562	0.238
15	10.116	0.684
16	10.384	0.416
17	10.203	0.597
18	10.365	0.435
19	10.447	0.353
20	10.269	0.531
21	10.081	0.719
22	10.620	0.180
23	10.796	0.004
24	10.648	0.152
25	10.612	0.188
26	10.466	0.334
27	10.297	0.503
28	10.591	0.209
29	10.562	0.238
30	10.561	0.239
31	10.401	0.399
32	10.553	0.247
33	10.636	0.164

写真-3.3.17.17 人工欠陥部（スクラッチ傷）の状況と板厚減少量（干満帯下部）

3.3.17.3 N-17 材まとめ

- 1) 本試験材の被覆仕様である「チタン+ポリウレタン被覆」と「ポリウレタン被覆」は、10年経過後も概ね健全な状態を維持していた。
- 2) チタン層、ポリウレタン層の接着強度は、10年経過後も高いレベルを維持していた。ポリウレタンの交流抵抗値は $10^9 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上、絶縁抵抗値も $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 以上の高いレベルを保持していた。
- 3) 人工欠陥部として設けた打撃痕や補修部の鋼材面には腐食は認められなかった。被覆層下端部も剥離などは認められず、健全な状態であった。
- 4) 一方、スクラッチ傷周囲の鋼材面には、凹凸となる腐食が見られた。その板厚減少量は、飛沫帯上部のポリウレタンに設けた箇所で最大 2.69mm(0.27mm/y)、飛沫帯下部のチタン+ポリウレタンの箇所では最大 0.6mm(0.06mm/y)であり、鋼材面に達する傷に対しては早期の補修が必要と考えられる。

3.3.18 試験材 N-18

3.3.18.1 現地調査

試験材N-18は、チタンクラッド鋼防食法を用いた際に、チタン表面が卑な電位に長時間晒された際の水素吸収し、その一部が水素化物を形成することがあるため、定電位制御装置を用いて電気防食を行い暴露試験を実施する予定であったが、暴露試験途中で電位制御が作用しなくなったと考えられるため、当初予定されていたチタン中の水素分析は実施しなかった。

写真-3.3.18.1及び図-3.3.18.1にそれぞれ、海生生物除去前の試験体の外観と外観スケッチを示す。飛沫帯の北側（施設側）は、タールエポキシ部、チタンクラッド部ともに試験材上部からのもらい錆による変色（全体的に茶褐色）が認められた。一方、南側のもらい錆は少なく、タールエポキシ部の3割程度と、チタンクラッド部は接合部にわずかに付着している程度であった。しかし、いずれも被覆層に異状は認められず、健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯にかけて多量のフジツボ類とイガイが付着している状態であった。

図-3.3.18.2、写真-3.3.18.2及び3.3.18.3に海生生物除去後の外観スケッチと外観状況を示す。チタンクラッド部の一般部、溶接部およびチタン板溶接部には、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。

3.3.18.2 詳細調査

N-18試験体の詳細調査として、電位測定とアルミニウム合金の犠牲陽極の消耗量を測定した。表3.3.18.1に試験材の電位測定結果を示す。今回（2013年）、深度方向に対して500mm毎に測定された電位は-919～-920mV vs. SCEであり、2011年に引き続き良好な防食状態であることが確認されたが、2011年測定時よりも電位が卑化していることから、定電位制御装置に動作不良が起きたものと考えられた。

3.3.18.3 まとめ

海生生物を除去した後のチタンクラッド鋼の外観観察を実施した結果、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、良好な耐食性を示すことが判明した。



施設側(北側)



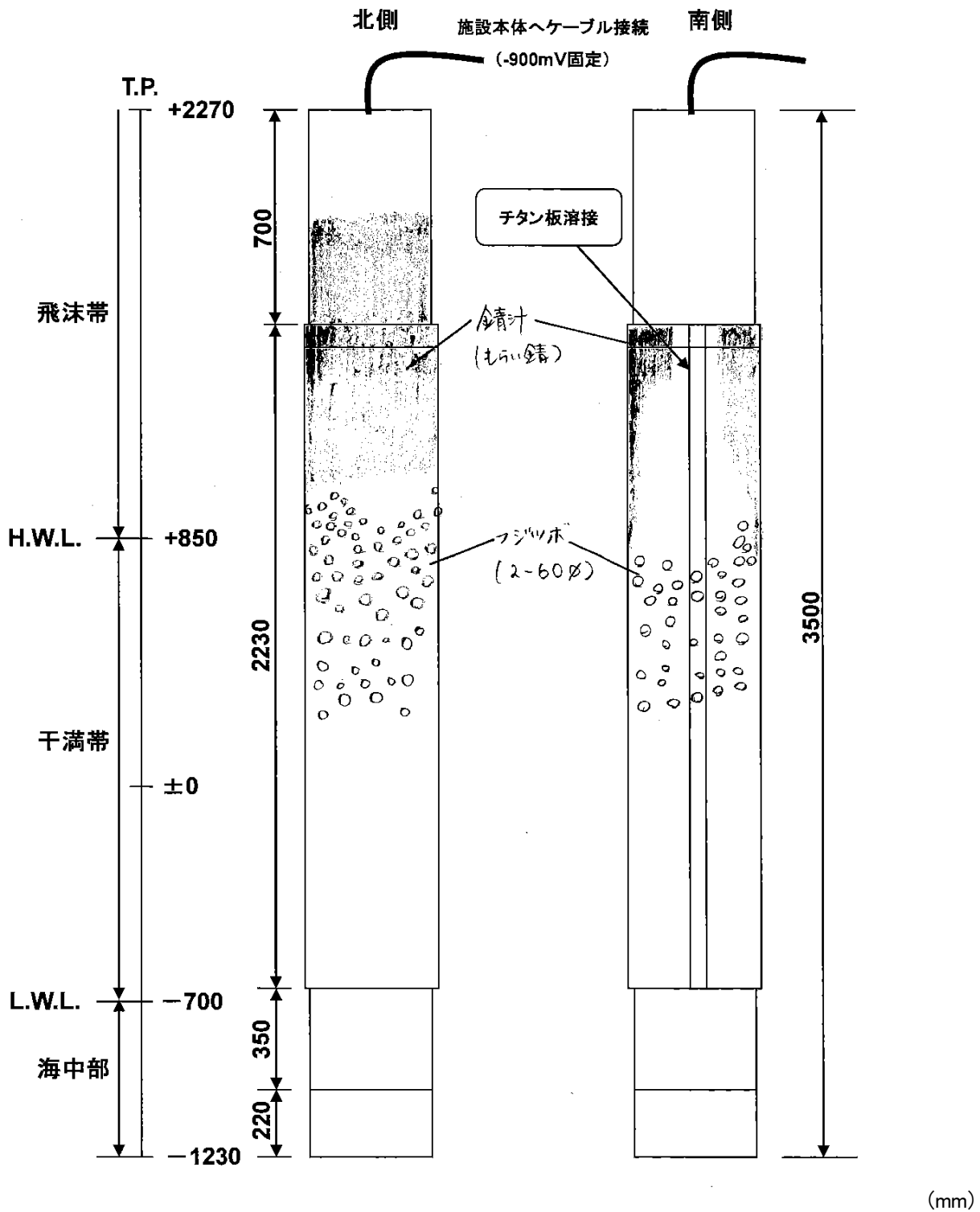
もらい錆および海生生物付着状況

新規暴露試験材

防食系:チタンラッド+電気防食

防食仕様:チタン+電気防食(施設本体と接続し、-900mV付近で定電位制御)

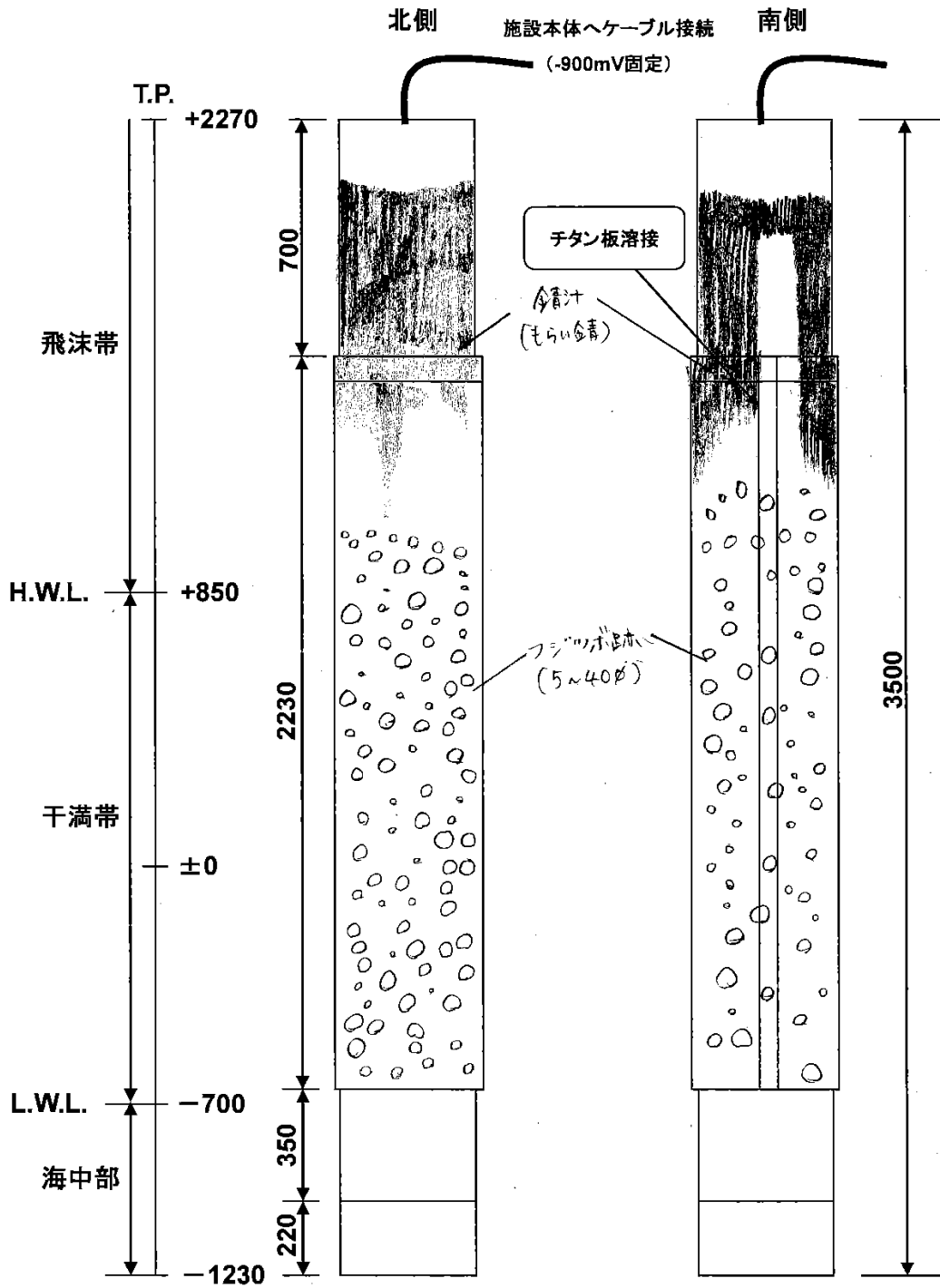
写真-3.3.18.1 試験材N-18 海生生物除去前の外観状況写真



防食系:チタンラッド+電気防食

防食仕様:チタン+電気防食(施設本体と接続し、-900mV付近で定電位制御)

図-3.3.18.1 試験材N-18 海生生物除去前の外観スケッチ



(mm)

防食系:チタンラッド+電気防食

防食仕様:チタン+電気防食(施設本体と接続し、-900mV 付近で定電位制御)

図-3. 3. 18. 2 海生生物除去後の試験材 N-18 の外観スケッチ



①飛沫帯の試験材表面には、もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



③チタンクラッド被覆の一般部(異状なし)



②もらい錆による変色(茶褐色)が認められる



④溶接部(異状なし)



・チタンクラッド被覆の一般部および溶接部には海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

写真-3. 3. 18. 2 試験材 N-18 海生生物除去後の外観 (北面)



①飛沫帯におけるチタン板溶接部(異状なし)



③海中におけるチタン板溶接部(異状なし)



②干渉帯におけるチタン板溶接部(異状なし)



・チタンクラッド被覆の一般部およびチタン板溶接部には海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。

写真-3. 3. 18. 3 試験材 N-18 海生生物除去後の外観 (南面)

表-3.3.18.1 試験材 N-18 の電位 (mV vs. SCE)

測定年度	測定位置					平均値
	T.P.+900	T.P.+400	T.P.-100	T.P.-600	T.P.-1100	
2005年	—	-864	-865	-865	-865	-864
2008年	—	-900	-900	-901	-900	-900
2011年	-873	-872	-873	-875	-874	-873
2013年	-919	-919	-920	-920	-920	-919

注) 本試験材は、暴露開始時(2003年度)に定電位制御装置付アルミニウム合金陽極を試験材に取り付けていたが、制御不能となったため2004年度に試験施設本体と接続し、第2デッキ上に設置した定電位制御装置を介して電気防食を実施した。したがって、本試験材は、2004年度以降、施設本体と接続し、定電位制御装置を介して電気防食を行なっているため、アルミニウム合金陽極は設置されていない。

3.3.19 試験材 N-19

3.3.19.1 現地調査

(1) 海生生物除去前の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.19.1、外観スケッチを図-3.3.19.1に示す。

試験材上部からのもらい錆による変色が認められた（飛沫帯のチタン被覆部は全体で金色～茶褐色、タールエポキシ部は一部で茶褐色を呈していた）。また、飛沫帯にある端部金具に腐食が見られたが、軽微なものであった。その他に異状は認められず健全な状態であった。海生生物は、飛沫帯下部から干満帯上部にかけて多量のフジツボ類と一部にイガイが付着している状態であった。それ以深の干満帯中間部は、付着量も少なく、フジツボ類も小型になっていた。

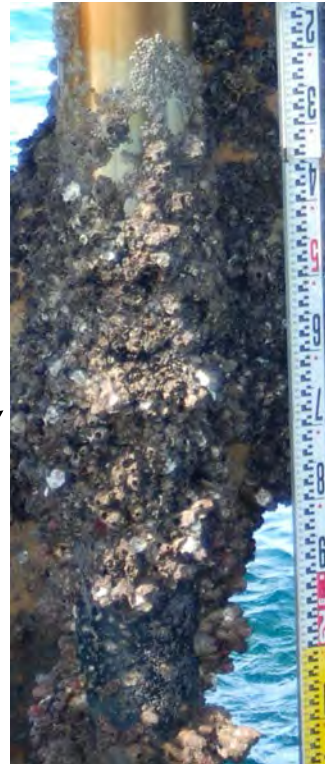
(2) 海生生物除去後の外観観察

試験材の外観状況を写真-3.3.19.2および写真-3.3.19.3、外観スケッチを図-3.3.19.2に示す。

干満帯上部（溶接留めチタンカバー）の補修部一般部および溶接部、干満帯下部の補修部（鞘留めチタンカバー）一般部および鞘管接合部は、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。タールエポキシ塗装部は、北面の試験材下端部に一部剥離箇所が見られたが、その他の部分においては異状は無く、健全な状態であることが認められた。



施設側（南側）



海生生物付着状況

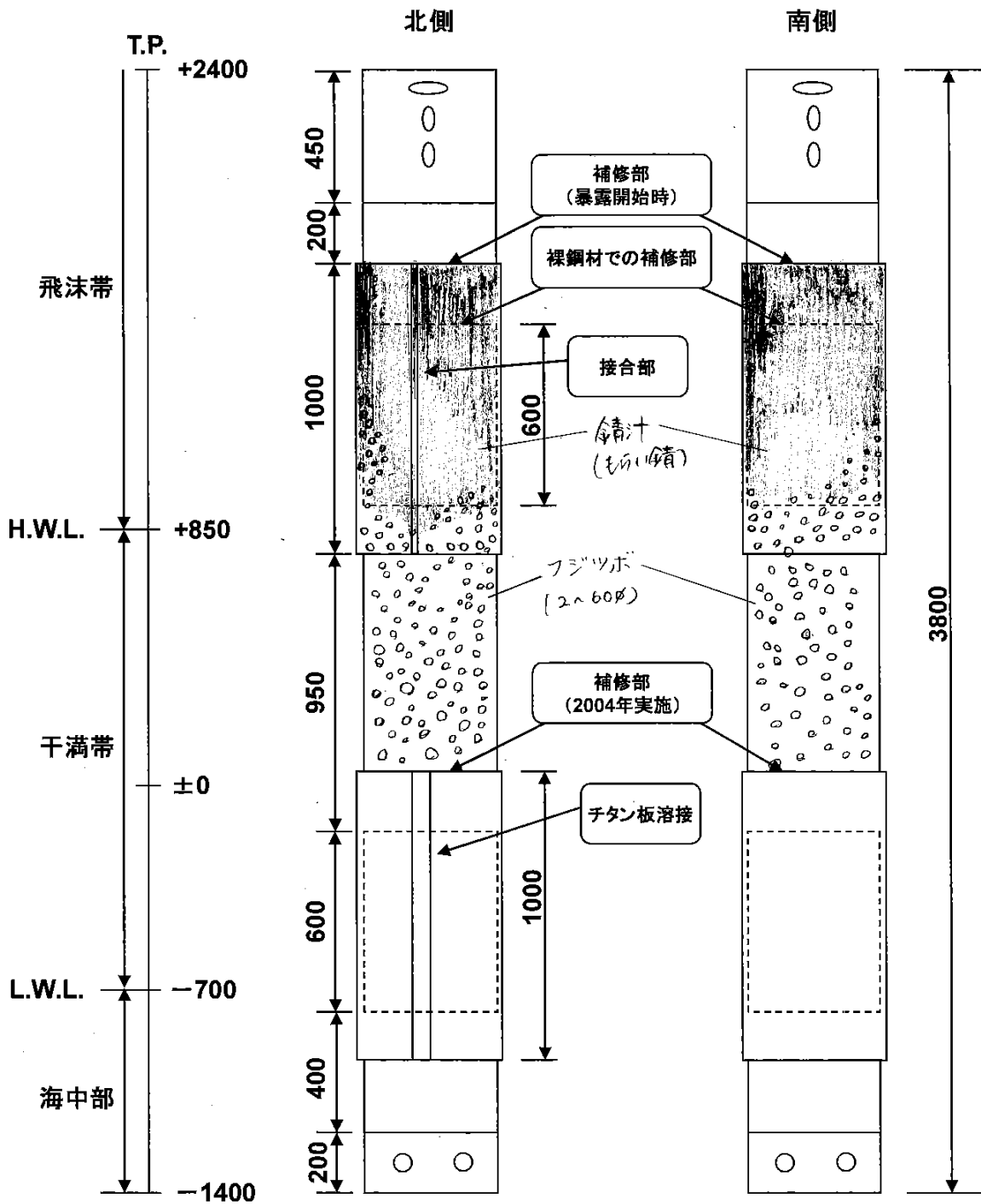
新規暴露試験材

防食系：有機ジンクリッチ＋タールエポキシ＋ペトラタムテープ＋チタン薄板カバー

防食仕様：有機ジンクリッチ（ $100\mu\text{m}$ ）＋タールエポキシ（ $640\mu\text{m}$ ）＋ペトラタムテープ（ 4.4mm ）

＋Ti（ 0.6mm ）

写真-3.3.19.1 試験材 N-19 海生生物除去前の外観状況写真



防食系：有機ジンクリッチ+タールエポキシ+ペトロラタムテープ+チタン薄板カバー

防食仕様：有機ジンクリッチ (100 μ m) +タールエポキシ (640 μ m) +ペトロラタムテープ (4.4mm)
+Ti (0.6mm)

図-3.3.19.1 試験材 N-19 海生生物除去前の外観図

試験材上端部

①



①チタンカバナー補修部およびタールエポキシ塗装部に損傷は認められず、異状はない(H.W.L付近)

②



②チタンカバナー補修部およびタールエポキシ塗装部に損傷は認められず、異状はない(L.W.L付近)

③



試験材下端部



②チタンカバナー補修部およびタールエポキシ塗装部に損傷は認められず、異状はない(T.P.±0付近)



・飛沫帯のチタンカバナー補修部は、もらい錆により変色(金色)しているが、チタンカバナー補修部には海生生物附着下においてもすぎま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。
 ・干満帯および海中部に位置するタールエポキシ塗装部には海生生物の附着跡はみられるものの塗膜剥離や割れなどの損傷は認められず、異状はない。

新規試験材

防食系:有機ジメチルシリコン+タールエポキシ

+ペトロラタムテープ+チタン薄板カバナー

防食仕様:有機ジメチルシリコン(100μm)+タールエポキシ(640μm)

+ペトロラタムテープ(4.4mm)+Ti(0.6mm)



写真3.3.192 試験材N-19(南面)海生生物除去後の外観状況

試験材上端部

①



③

試験材下端部

①チタンカバ補修部およびターエルエボキシ塗装部に損傷は認められず、異状はない(H.W.L付近)



②チタンカバ補修部およびターエルエボキシ塗装部に損傷は認められず、異状はない(T.P.±0付近)



③ターエルエボキシ塗装部に一部剥がれが認められる(L.W.L付近)

- ・飛沫帯のチタンカバ補修部は、もらい錆により変色(金色)しているが、チタンカバ補修部には海生生物付着下においてもすぎま腐食などの局部腐食は認められず、異状はない。
- ・チタンカバ補修部の溶接部およびさや管部の接合状態は良好で浮きや損傷は認められない。

新規試験材

防食系:有機シンクリッチ + ターエルエボキシ

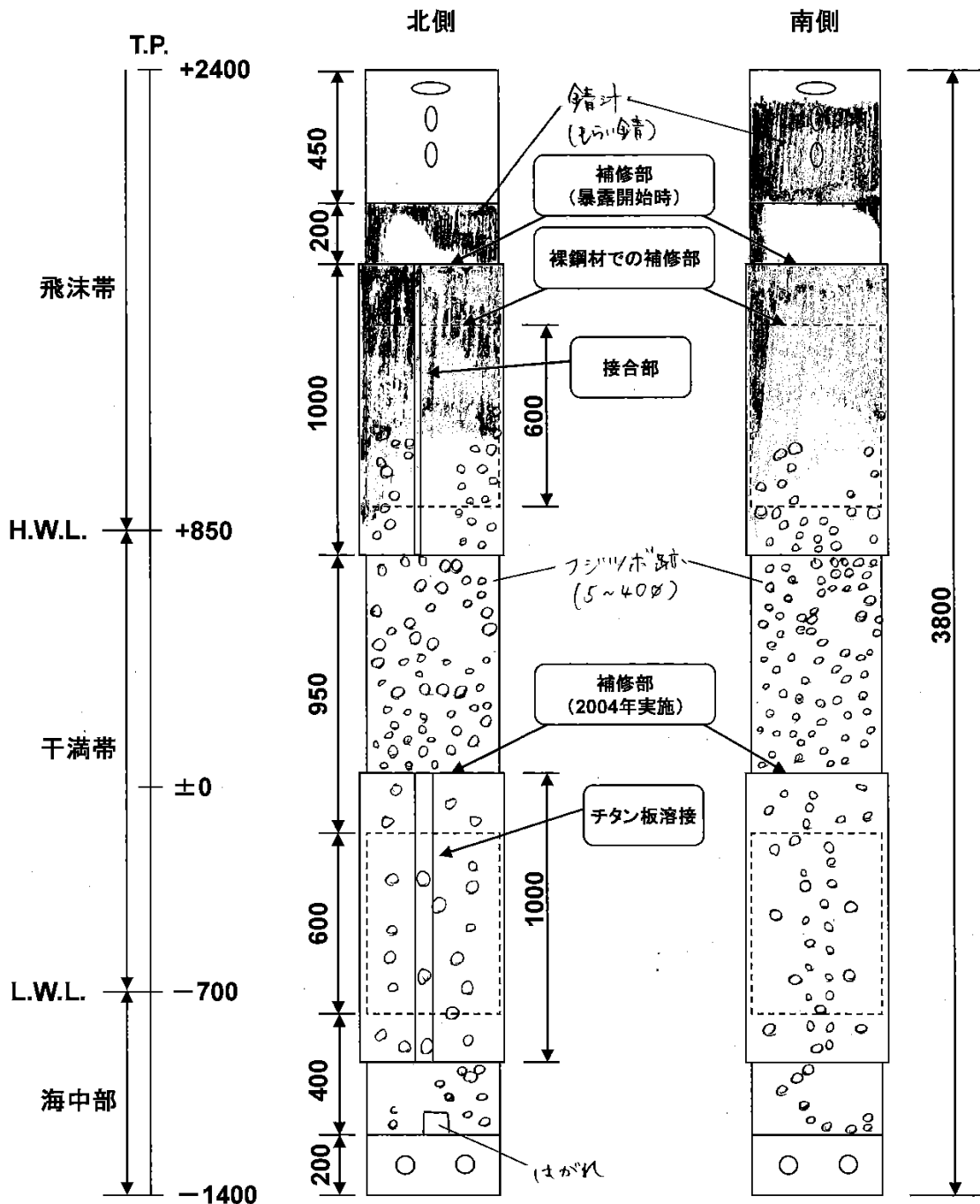
+ ペトロラタムテープ + チタン薄板カバ

防食仕様:有機シンクリッチ (100μm) + ターエルエボキシ (640μm)

+ ペトロラタムテープ (4.4mm) + Ti (0.6mm)



写真3.3193 試験材N-19(北面)海生生物除去後の外観状況



(mm)

防食系：有機ジンクリッチ+タールエポキシ+ペトロラタムテープ+チタン薄板カバー

防食仕様：有機ジンクリッチ (100 μ m) +タールエポキシ (640 μ m) +ペトロラタムテープ (4.4mm)

+Ti (0.6mm)

図-3.3.19.2 試験材 N-19 海生生物除去後の外観図

3.3.19.2 詳細調査

3.3.19.2.1 詳細調査方法

(1) 外観詳細観察

補修部の観察を実施した。写真およびスケッチにより劣化状況を記録した。

(2) カバー内の劣化状況調査

補修部を解体してペトロラタムテープの劣化状況を写真およびスケッチで記録した。

(3) 素管板厚および膜厚計測

板厚を UST で、塗膜厚を電磁膜厚計で計測した。板厚および膜厚の計測位置はそれぞれ下記のとおりとした。

板厚 : TP-1100、-500、+1000、+1250、+1500

膜厚 : TP-1100、+375、1800

(4) 塗膜の絶縁抵抗計測

海側・施設側ともに TP-1100、+375、1800 で 1 分値、2 分値を計測した。また、当該部位の膜厚も記録した。

(5) 交流インピーダンス計測

海側・施設側ともに T.P.-1100、+375、+1800 で交流インピーダンスを計測した。

計測周波数は 200Hz、500Hz、1000Hz とし、R 値と、 $\tan \delta$ を記録した。

3.3.19.2.2 詳細調査結果

(1) 外観詳細観察

海洋生物除去後の写真を写真-3.3.19.4 に示す。外観観察の結果以下のことが分かった。

1) 上部チタンカバー補修部（溶接留め仕様）の外観

- ① チタンカバーに損傷はない。
- ② チタンカバーに浅い凹みがわずかにある。
- ③ 溶接留めの外れは無い。
- ④ チタンの移動止め金具の一部に剥がれや錆がある。

2) 下部チタンカバー補修部（鞘留め仕様）の外観

- ① チタンカバー本体及び鞘に損傷はない。
- ② チタンカバーに浅い凹みがわずかにある。
- ③ チタンの移動止め金具の一部に剥がれや錆がある。
- ④ 下側のチタンの移動止め金具のボルト留めのフランジが腐食し、金具の連結が離れている。

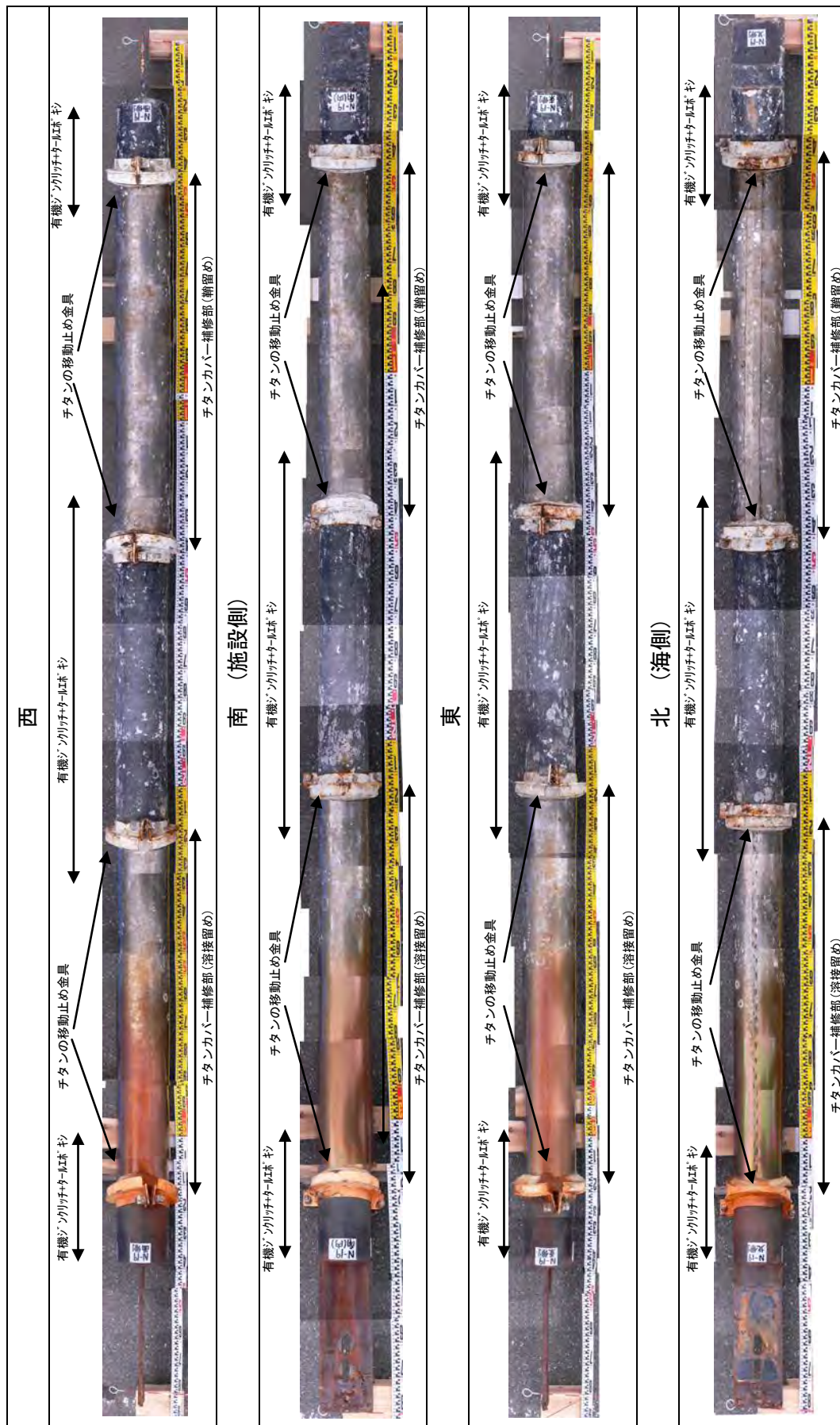


写真-3.3.19.4 試験体外観 (N-19、海洋生物除去後)

(2) カバー内の劣化状況

1) 上部チタンカバー補修部（溶接留め仕様）の外観

上部の溶接留めチタンカバーは先ず端部のパテをハンマーで撤去し、その後金具を金切り鋏で切断・撤去したのち、ペトロラタムテープの外観を観察し、最後にペトロラタムテープを除去して鋼管表面の油分をシンナーで拭き取った後鋼管の外観観察を行った。

ペトロラタムテープの外観を写真-3.3.19.5に、油分除去後の鋼管表面の外観を写真-3.3.19.6および写真-3.3.19.7に示す。

その結果、次のことが分かった。

- ① ペトロラタムテープは、所々黒色に変色している部分はあるが、油分が完全に無くなっているところはなかった。
- ② ペトロラタムテープ取り外し後の鋼管表面にも全面に油分が付着していた。
- ③ 鋼管表面は概ね平滑で、全体的な腐食はないが、南側上部に孔食状に腐食している個所があった。
(最大腐食深さ 0.91mm)

2) 下部チタンカバー補修部（靱留め仕様）の外観

本部位は鋼管を 1 年間曝露後に防食補修した部位である。解放点検作業は上部チタンカバー補修部とほぼ同様の手順、即ち以下の手順で行った。

下部の靱留めチタンカバーは先ず端部のパテをハンマーで撤去し、その後金具を金切り鋏で切断・撤去したのち、緩衝材（発泡ポリエチレンシート）の外観を観察し、次にペトロラタムテープの外観を観察し、最後にペトロラタムテープを除去して鋼管表面の油分をシンナーで拭き取った後鋼管の外観観察を行った。

発泡ポリエチレンシートの外観を写真-3.3.19.8に、ペトロラタムテープの外観を写真-3.3.19.9に、油分除去後の鋼管表面の外観を写真-3.3.19.10に示す。

その結果、次のことが分かった。

- ① 緩衝材（発泡ポリエチレン）に破れはなかった。
- ② ペトロラタムテープは、所々に黒色に変色している部分があるが、油分が完全に無くなっているところはなかった。
- ③ ペトロラタムテープ取り外し後の鋼管表面は、黒い油分が全面に付着しており、所々に薄い錆の個所があった。
- ④ 鋼管は設置 1 年間は無防食で暴露されていた為、全体が腐食し、凹凸になっているが、特に目立つ局部腐食はなかった。





<p>チタンカバーの外し後のペトロラタムテープ</p> <p>西側</p>	<p>所々黒色になっている個所が有るが、ペトロラタムテープは、全体にべたつきがあり、油分が完全に無くなっているところはない</p> 
<p>チタンカバーの外し後のペトロラタムテープ</p> <p>南側</p>	<p>所々黒色になっている個所が有るが、ペトロラタムテープは、全体にべたつきがあり、油分が完全に無くなっているところはない</p> 
<p>チタンカバーの外し後のペトロラタムテープ</p> <p>東側</p>	<p>所々黒色になっている個所が有るが、ペトロラタムテープは、全体にべたつきがあり、油分が完全に無くなっているところはない</p> 
<p>チタンカバーの外し後のペトロラタムテープ</p> <p>北側</p>	<p>所々黒色になっている個所が有るが、ペトロラタムテープは、全体にべたつきがあり、油分が完全に無くなっているところはない</p> 

写真-3.3.19.5 チタンカバー除去後のペトロラタムテープの状況
(溶接仕様チタンカバー)





<p>油分のシンナー拭き取り後の鋼管表面</p> <p>西側</p>	<p>鋼管表面は概ね平滑で、特に目立つ腐食個所はない</p> 
<p>油分のシンナー拭き取り後の鋼管表面</p> <p>南側</p>	<p>鋼管表面は概ね平滑である 南側上部に一部腐食している個所がある。(最大腐食深さ 0.91mm)</p> 
<p>油分のシンナー拭き取り後の鋼管表面</p> <p>東側</p>	<p>鋼管表面は概ね平滑で、特に目立つ腐食個所はない</p> 
<p>油分のシンナー拭き取り後の鋼管表面</p> <p>北側</p>	<p>鋼管表面は概ね平滑で、特に目立つ腐食個所はない</p> 

写真-3.3.19.6 ペトラタムテープ除去後の鋼管表面の状況
(溶接仕様チタンカバー)



写真-3.3.19.7 溶接仕様チタンカバーの南側上部の腐食箇所

<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>西側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>南側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>東側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>北側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> <p>当て板を外した際に当て板側に緩衝材が付着していたため外れている</p> 

写真-3.3. 19.8 チタンカバー取り外し後の緩衝材（発泡ポリエチレン）の状況
（鞆留め仕様チタンカバー）

<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>西側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>南側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>東側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの 外し後の 緩衝材</p> <p>北側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> <p>当て板を外した際に当て板側に緩衝材が付着していたため外れている</p> 

写真-3.3.19.9 ペトラタムテープの外観状況
(鞆留め仕様チタンカバー)

<p>チタンカバーの外し後の緩衝材</p> <p>西側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの外し後の緩衝材</p> <p>南側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの外し後の緩衝材</p> <p>東側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> 
<p>チタンカバーの外し後</p> <p>北側</p>	<p>緩衝材の破れ無し</p> <p>当て板を外した際に当て板側に緩衝材が付着していたため外れている</p> 

写真-3.3.19.10 油分除去後の鋼管表面の外観状況
(鞆留め仕様チタンカバー)

(3) 素管板厚および膜厚

1) 素管板厚

板厚測定結果を表-3.3.19.1に示す。また、板厚測定位置を図-3.3.19.3に、板厚測定位置の外観写真を写真-3.3.19.11に示す。

- ① 今回の板厚は初期に比べて約1mm小さい値であるが、見た目にはそれほど腐食しているようには見えない。
- ② T.P.-1100のタールエポキシ塗装部で腐食していないところも板厚が約1mm小さくなったこと、試験体に用いた鋼管が150A*t11であったことから、初期測定の実測値が原因と考えられる。

2) 膜厚

塗膜厚の計測結果を表-3.3.19.2に示す。膜厚測定位置を図-3.3.19.3に示す。計測位置の防食仕様は何れも有機ジンクリッチ+タールエポキシ(設計値:500 μ m)であり、上から飛沫帯、干満帯、海中部に相当する。また、測定にあたっては塗膜損傷がない部位とした。

測定の結果、何れの部位においても膜厚の減少は認められなかった。

表-3.3.19.1 板厚測定結果 (USTによる計測結果)

測定位置	鋼管板厚(mm)				備考
	施設側(南)		海側(北)		
	今回	初期	今回	初期	
T.P.+1500	11.08	12.04	10.59	11.61	上部の補修部
T.P.+1250	11.13	12.11	10.57	11.60	上部の補修部
T.P.+1000	11.38	12.37	10.47	11.51	上部の補修部
T.P.-500	11.11	12.29	10.32	11.52	下部の補修部
T.P.-1100	11.33	12.20	10.59	11.63	タールエポキシ塗装部

表-3.3.19.2 膜厚測定結果

測定位置	膜厚(μ m)				備考
	施設側(南)		海側(北)		
	今回	初期	今回	初期	
T.P.+1800	690	622	897	819	上部の補修部
T.P.+375	719	613	529	483	上部の補修部
T.P.-1100	828	731	736	552	タールエポキシ塗装部

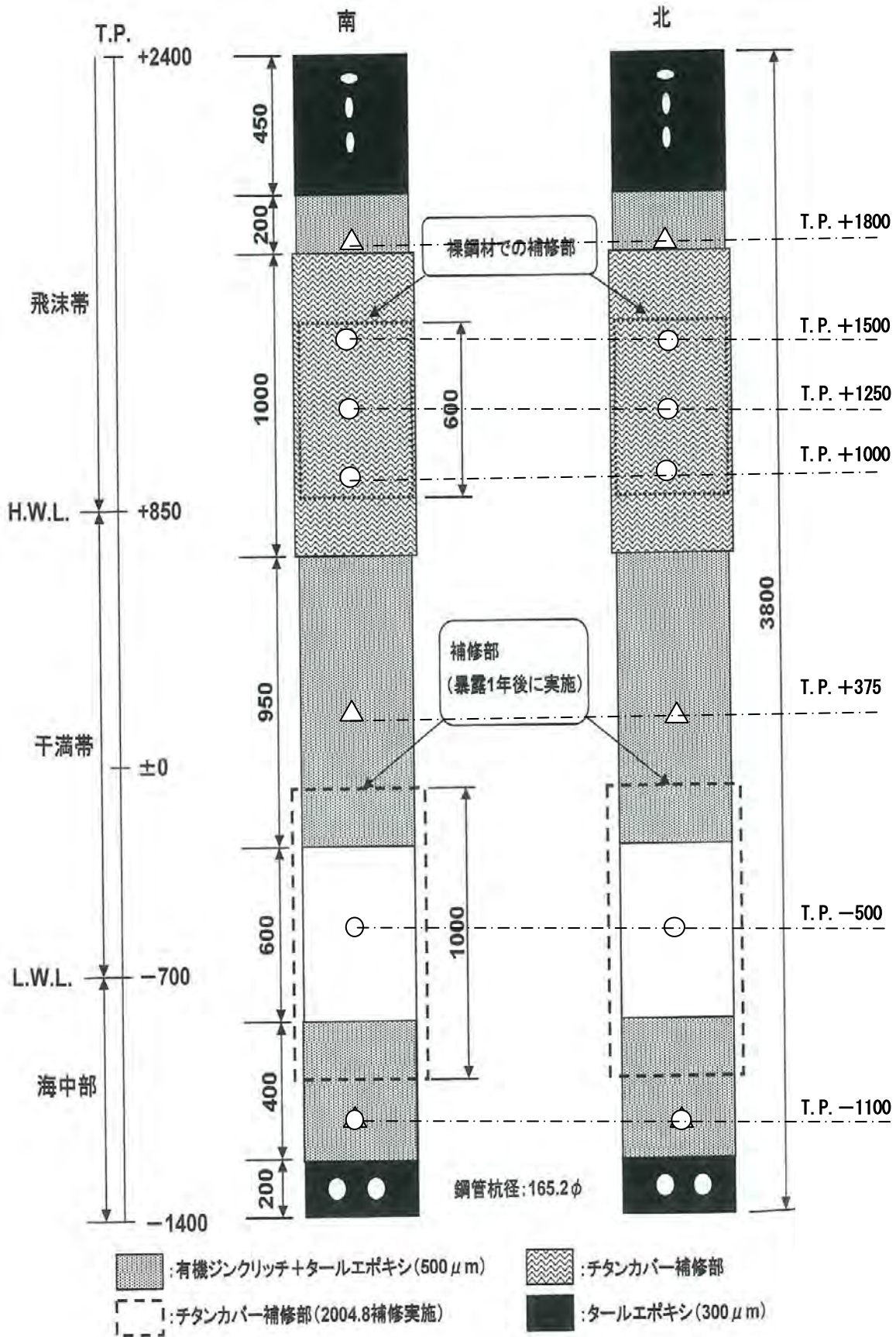


図-3.3.19.3 板厚測定部位 (○部) および膜厚測定部位 (△部)










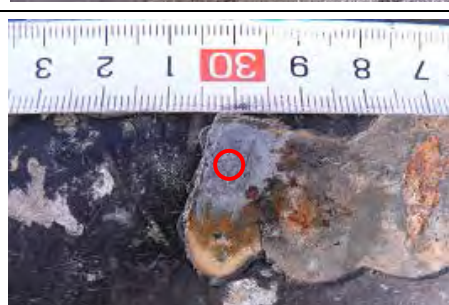
測定位置	施設側 (南)	海側 (北)
T. P. +1500 (下端より 2900mm)		
T. P. +1250 (下端より 2650mm)		
T. P. +1000 (下端より 2400mm)		
T. P. -500 (下端より 900mm)		
T. P. -1100 (下端より 300mm)		

写真-3. 3. 19. 11 板厚測定位置の写真 (○部)

(4) 塗膜の絶縁抵抗

塗膜の絶縁抵抗の測定結果を表-3.3.19.3に、測定部位を図-3.3.19.4に示す。

海側(北)の T.P. +1800 と T.P. +375 で絶縁抵抗値が少し低下傾向にあるが、その他は、絶縁抵抗が同等又は高くなっており顕著な劣化は認められない。

表-3.3.19.3 絶縁抵抗

測定位置		膜厚(μm)		絶縁抵抗(Ω・cm ²)			
				1分値		2分値	
		今回	初期	今回	初期	今回	初期
施設側 (南)	T.P. +1800	799	742	2.35×10 ¹¹	1.52×10 ¹¹	2.35×10 ¹¹	1.68×10 ¹¹
	T.P. +375	739	748	1.01×10 ¹⁴	3.18×10 ¹¹	6.76×10 ¹³	3.18×10 ¹¹
	T.P. -1100	675	854	4.07×10 ¹³	1.46×10 ¹¹	4.44×10 ¹³	1.49×10 ¹¹
海側 (北)	T.P. +1800	989	899	5.56×10 ⁹	7.79×10 ¹⁰	5.06×10 ⁹	8.34×10 ¹⁰
	T.P. +375	551	545	4.53×10 ⁸	1.10×10 ¹¹	1.36×10 ⁹	1.15×10 ¹¹
	T.P. -1100	725	636	4.48×10 ¹³	3.05×10 ¹¹	4.48×10 ¹³	3.43×10 ¹¹

(測定電極 : 50mm×50mm アルミ箔、ガード電極 : 75mm×75mm アルミ箔)

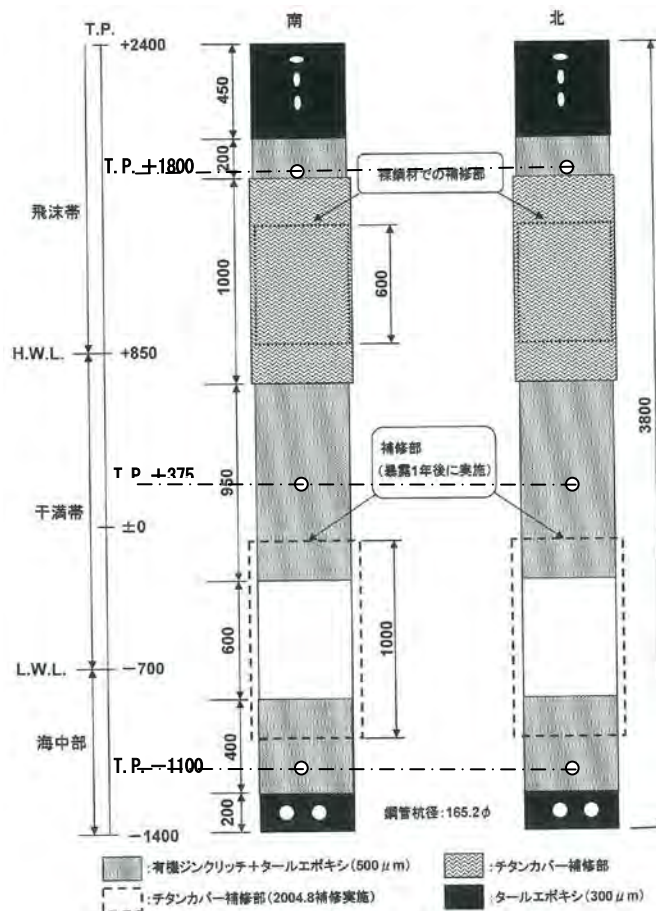


図-3.3.19.4 絶縁抵抗測定位置(○部)

(5) 交流インピーダンスおよび $\tan \delta$

塗膜（ジンクリッチ+タールエポキシ）の交流インピーダンスおよび $\tan \delta$ の計測結果を表-3.3.19.4に示す。計測位置は図-3.3.19.3に示す塗膜厚計測位置と同じ（目立った損傷がない部位）である。

- ① 交流インピーダンス (R 値) $10^6 \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}^2$ は海側(北) T.P. +375 で $\tan \delta$ が少し大きくなっている。またこの部分のみ絶縁抵抗や R 値が低下している。これは、塗膜厚が周囲よりも薄いため塗膜の劣化が周囲よりも早めに進行しているためであると推察される。
- ② その他の部分では大きな変化は認められなかった。

表-3.3.19.4 交流インピーダンスおよび tan δ 計測結果

測定位置		膜厚 (μ m)		周波数 (Hz)	R 値 (Ω · cm ²)		tan δ	
		今回	初期		今回	初期	今回	初期
施設側 (南)	T. P. +1800	799	742	200	9.26×10 ⁸	3.79×10 ⁸	0.10	0.20
				500	4.55×10 ⁸	2.07×10 ⁸	0.08	0.16
				1000	2.60×10 ⁸	1.26×10 ⁸	0.07	0.14
	T. P. +375	739	748	200	6.76×10 ⁸	3.91×10 ⁸	0.11	0.18
				500	3.16×10 ⁸	1.92×10 ⁸	0.09	0.16
				1000	1.75×10 ⁸	1.15×10 ⁸	0.09	0.4
	T. P. -1100	675	854	200	6.76×10 ⁸	2.12×10 ⁸	0.11	0.32
				500	3.38×10 ⁸	1.30×10 ⁸	0.09	0.24
				1000	1.94×10 ⁸	8.71×10 ⁷	0.09	0.19
海側 (北)	T. P. +1800	989	899	200	6.76×10 ⁸	3.85×10 ⁸	0.16	0.23
				500	4.24×10 ⁸	2.17×10 ⁸	0.11	0.18
				1000	2.63×10 ⁸	1.34×10 ⁸	0.09	0.16
	T. P. +375	551	545	200	6.10×10 ⁷	3.09×10 ⁸	0.73	0.19
				500	4.97×10 ⁷	1.67×10 ⁸	0.43	0.6
				1000	4.01×10 ⁷	1.00×10 ⁸	0.29	0.14
	T. P. -1100	725	636	200	8.93×10 ⁸	4.10×10 ⁸	0.09	0.20
				500	4.17×10 ⁸	2.25×10 ⁸	0.08	0.15
				1000	2.27×10 ⁸	1.37×10 ⁸	0.07	0.13

(測定電極 : 50mm×50mm アルミ箔)

3.3.19.3 まとめ

- (1) 干満帯上部（溶接留めチタンカバー）の補修部一般部および溶接部、干満帯下部の補修部（鞘留めチタンカバー）一般部および鞘管接合部は、海生生物付着下においてもすきま腐食などの局部腐食は生じておらず、健全な状態であることが認められた。タールエポキシ塗装部は、北面の試験材下端部に一部剥離箇所が見られたが、その他の部分においては異状は無く、健全な状態であることが認められた。
- (2) 上部防食カバー（溶接留めチタンカバー）は、外観上損傷は認められず浅い凹みが認められる程度であった。カバー除去後のペトロラタムテープは油分が完全になくなっている部位などはなかったが、部分的に茶色、黒色、赤茶色の変色が認められた。また、油分拭き取り後の鋼管表面は概ね平滑で、全体的な腐食はないが、南側上部に孔食状に腐食(最大腐食深さ 0.91mm)している個所があった。
- (3) 下部カバー（鞘留めチタンカバー）も、外観上損傷は認められず浅い凹みが認められる程度であった。カバー除去後のペトロラタムテープは油分が完全になくなっている部位などはなかったが、部分的に茶色、黒色、赤茶色の変色が認められた。本部位は無防食の状態です1年曝露された後にカバーによる補修が施された部位であるが、油分拭き取り後の鋼管には目立つ局部腐食は認められなかった。
- (4) タールエポキシ塗装部は、一部に当て傷のような塗膜損傷が認められたが、その他の部分では膜厚減少は認められなかった。T.P.+375 で交流インピーダンス (R 値) の低下、 $\tan \delta$ の増加が認められた。当該部位は外観上は目立った損傷はないが、周囲よりも膜厚が薄いため塗膜劣化が周囲よりも早めに行っているためであると推察される。また、一部 T.P.+1800 で絶縁抵抗の低下が認められた程度で目立った劣化は認められなかった。
- (5) 素管板厚は全ての部位で約 1mm 減少しているデータであったが、外観上ほとんど腐食していないように見えること、健全な塗膜下でも減少していること、試験体に用いた鋼管が 150A*t11 であったことから、初期測定の実測値の誤差の可能性が高いと考えられる。

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.480 March 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754