海水によるワイヤロープの腐食劣化の研究

山川 賢次^{*1}、守谷 敏之^{*2}、村上 卓也^{*2}、早崎 清志^{*3}、 鯖江 俊彦^{*3}、岡畑 成樹^{*4}、井上 新也^{*4}、神戸 良三^{*5}

Study on Corrosion Degradation of Wire Rope in Sea Water

by

Kenji YAMAKAWA, Toshiyuki MORIYA , Takuya MURAKAMI, Kiyoshi HAYASAKI, Toshihiko SABAE, Shigeki OKAHATA, Shinya INOUE, and Ryozo KANBE

Abstract

A wire rope used in a marine environment has a great degradation due to corrosion. An accurate inspection is necessary to ensure the safety of wire ropes. However, technical background data of wire rope is quite few at present, and is not sufficient for wire rope inspection. Gathering the technical data is important to establish and ensure the offshore structure's maintenance technology including wire rope inspection.

A laboratory test of wire rope degradation was carried out with seawater tanks for 5 years from 1994 to 1999. 14 types of ropes were used for the experiment. Further, an exposure test in real sea area was also carried out for 11 months in 1997 to acquire degradation data in dry zone above sea level, in ebb zone, and in the seawater zone. 8 types of ropes and 3 types of wires were used for the exposure test.

During the test period, we examined the ropes for several times on the following characteristics. (1)appearance of ropes and strands, (2)cross section of each wire layers, (3) mechanical properties of ropes: rope diameter, breaking strength, elongation, (4)mechanical properties of wire: diameter, tensile strength, number of torsion (5)mass of coating.

The changes of characteristic values are curve fitted with a line to eliminate fluctuation errors. We calculated most suitable characteristics values when the experiment is over and converted into normalized values divided by the initial values. Degradation of several kinds of wire rope was investigated with normalized characteristics values and observation results of wire rope and cross section.

^{*1} 環境・エネルギー研究領域	原稿受付	平成 14 年 11 月 13 日
^{* 2} 東京製綱㈱	審 査 済	平成 15 年 7月 18日
^{* 3} 神鋼鋼線工業㈱		
^{* 4} ㈱テザックワイヤロープ		
^{* 5} 興国鋼線索㈱		

40

目 次

1.まえがき 2.室内における実海水浸漬試験 2.1 研究の方法 2.1.1 海水浸漬試験の概要 2.1.2 試験装置 2.1.3 供試ロープ 2.1.4 試験項目および試料の採取 2.2 試験結果 2.2.1 試験環境 2.2.2 ロープおよび各層素線の特性値 2.2.3 各層素線断面の観察 3.実海域における暴露試験 3.1 研究の方法 3.1.1 実海域暴露試験の概要 3.1.2 試験の経過 3.1.3 供試ロープ 3.1.4 試験項目および試料の採取 3.2 試験結果 3.2.1 ロープおよび各層素線の特性値 3.2.2 外観および各層素線の断面観察 4.考察 5.まとめ 参考文献

1.まえがき

ワイヤロープは、海洋構造物や船舶で曳航、係留 および荷役など広範囲にわたって使用されており、 不可欠の材料であるが、多数の素線をより合わせた 複合材料という特徴から、その体積に比べて表面積 が大きく腐食による劣化が起こり易い。一方、海水 には食塩をはじめ塩類が多量に含まれ、自然環境の 中では最も腐食性の厳しい環境の部類に属する。し たがって、海洋環境下でワイヤロープを使用するに あたっては、適切な選定とともに的確な点検による 安全性の確保が必要であり、海洋関連機器の維持管 理に関する技術情報の一つとして、ワイヤロープの 腐食劣化に関する資料の充実が重要と考えられる。

しかし、ワイヤロープの腐食に関する研究は、疲 労や摩耗に関する研究のように豊富ではなく、僅か に西岡多三郎による「鉱山用鋼索の腐食と切断荷重 の研究」、幅野禎太郎による「ワイヤロープの劣化と その対策に関する研究」など^{1入2入3入4)}がみられ る程度である。とりわけ大径ロープの腐食劣化に関 する資料は皆無に等しい。その理由としては、試料 が膨大な量になること、長期間これらの試料を管理 できる試験環境を確保することが困難であることな どが考えられる。

著者らは、ワイヤロープの腐食劣化に関するデー タを得るために、東京製綱株式会社、神鋼鋼線工業 株式会社、株式会社テザックワイヤロープ、興国鋼 線索株式会社の4社と船舶技術研究所(現海上技術 安全研究所)との共同研究として1994年10月から 1999年12月までの5年間、実験室において実海水 による浸漬試験を実施した。これに加えて1997年1 月から12月までの11ヶ月間、実海域において暴露 試験を実施した^{5)~8)}。これらの腐食試験では、ロ ープおよび素線の特性値の変化、ロープとストラン ドの外観および素線断面のめっき層と腐食状況など を調査した。種類や寸法の異なる試料から得られた 特性値の時間変化を統一的に処理するため、関数近 似して、室内浸漬試験では 60 ヶ月、実海域暴露試 験では 12 ヶ月経過後の特性値の残存の割合を求め て評価値として、腐食劣化について比較検討した。 本報告は、これらの結果をまとめたものである。

2. 室内における実海水浸漬試験

2.1 研究の方法

2.1.1 海水浸漬試験の概要

この研究は、当初、14 種類 5 組の試料を無負荷状 態で試験タンク内の実海水に浸漬し、6 ヶ月ごとに 一組の試料を取り出して腐食状況を調査するという 3 年計画で開始した。しかし、ほとんど静水状態に 近い水槽では予想外に腐食の進行が遅かったため、 試験期間を予定より2年間延長して1994年10月か ら1999年12月まで5年2ヶ月間実施した。試料の 採取は、浸漬期間6ヶ月、12ヶ月、24ヶ月、50ヶ 月、62ヶ月に行った。 2.1.2 試験装置

試験装置は、遮光と防塵及び他の機器への海水雰 囲気の影響を防ぐため木造モルタルの実験室内に 5.4m×3.6mのプレハブの部屋を設けて3基のタン クを収納したものである。図2.1.1に試験タンクの 配置を示す。

タンク 及びタンク に試料を浸漬し、タンク は試験海水の容量を増やすための予備タンクとした。 それぞれのタンクの寸法は、タンク (鋼製、長さ ×幅×高さ=3.0×1.8×0.8m)タンク (塩化ビニ ール製、1.6×0.44×0.8m)、タンク (ポリエチレ ン製、直径×高さ=1.4×1.5m)で、試験海水の容 量は約6m³である。

海水の成分の均一性を保つため、3 基のタンク間 を図 2.1.1 のように接続して海水を循環させた。P₁、 P₂ は循環用のポンプで、吐き出し量はそれぞれ 20liter/min、90liter/min である。よどみの生じや すいタンク ではポンプ P₂ によって水槽内の循環 を行った。また、エアレーションと攪拌のため常時 コンプレッサーで各タンクに送気するとともに、タ ンク 内の循環、タンク からタンク 、タンク



図 2.1.1 試験タンクの配置



写真 2.1.1 試験タンク

からタンク への排出は空気中から落水させ、気泡 を含ませるようにした。

室温及び海水温の制御は行わず連続記録した。試 験海水は約6ヶ月毎に交換し、月に一回採取して成 分分析を行い、鉄、亜鉛の成分及び塩分濃度等を測 定した。試験海水は、八丈島沖で汲み上げた清浄な 海水を使用した。写真 2.11に試験タンクの配置状 況を示す。

2.1.3 供試ロープ

供試ロープは、交差よりロープ[6×37](繊維心)、 平行よりロープ[IWRC 6×WS(36)] (鋼心)、スパイ

試料 番号	ロープの構成	ロープ径	最外層 素線径	伸 線	めっき の種類	めっき 付着量
шэ		(mm)	(mm)			(g/m²)
		60	2.82	AD	Zn	230 (274)
		30	1.4	AD	Zn	100 (138)
		30	1.4	FG	Zn	135 (175)
	6 x 2 7	30	1.4	FG	Zn	200 (223)
	0 × 57	30	1.4	AD	Zn• Al	200 (235)
		16	0.75	AD	Zn	70 (93)
		16	0.75	AD	Zn·油	70 (93)
		16	0.75		裸	
		60	3.5		Zn	200 (285)
	IWRC 6 × WS(36)	30	1.7		Zn	110 (127)
	. ,	18	1.06		Zn	210 (166)
	1 × 127	65	5.08		Zn	270 (352)
	1 × 61	30	3.43		Zn	260 (381)
	1 × 19	16	2.42		Zn	210 (284)

表 2.1.1 供試ロープ

ラルロープ[1×127、1×61、1×19]の3種類とし、 ロープ径は60、30、16の3段階とした。表 2.1.1に供試ロープをロープの構成およびロープ径 で分類して主な仕様を示す。3種類のロープの断面 を図2.1.2に示す。

交差よりロープ [6×37]は、繊維心の周囲に 6 本のストランドをより合わせたもので、ストランド は、数パーセント太い心線(0)の周囲に内部から下 層線(下より線1)、内層線(中より線2)、外層線(上 より線3)の 36 本の素線をより合わせたものであ る。

平行よりロープ [IWRC 6×WS(36)] は、ロープ 心 (IWRC: Independent Wire Rope Core)の周り に6本のストランドをより合わせたもので、各スト ランドは、心線(側心線 0)の周囲に内部から下層線 (側下より線 1)、側内層太線(中より線(太) 2A)、側 内層細線(中より線(小) 2B)、側外層線(上より線 3) の素線 36 本をより合わせたものである。中心の口 ープ心は、心ストランドの周りに側ストランドをよ り合わせたものである。ロープ心の心ストランドは、 IWRC 心ストランド心線(00)の周囲に IWRC 心ス トランド側線(01)をより合わせたものである。また、 ロープ心の IWRC 側ストランドは、IWRC 側スト ラ ンド心線(10)の周囲に IWRC 側ストランド側線(11)をより合わせたものである。試料 、 、 では 心ストランドと側ストランドは同じ構成で共心とも 呼ばれる。

スパイラルロープは、繊維心のストランドと同じ で、心線(₀)の周囲に素線を重ねてより合わせたも

ので、他の2種類の試料と 同様に各層の素線を内部か ら順に 0、1、2、・・・・ 6の記号で表す。したが って、1×127では 6、1 ×61では 4、1×19では 3が最外層素線である。 記号とロープの各層素線と



図 2.1.2 供試ロープの断面図

の対応は、図 2.2.3_1 ~ 図 2.2.3_3 および図 3.2.2_1 ~ 図 3.2.2_8 の各試料に示す。

試料に用いたロープは JIS G 3525 で定められた 破断荷重による区分 G 種で素線の公称引張強さは 1470N/mm² 級である。表中の記号は、AD(after draw) がめっき後に伸線したもの、FG(final galvanizing)が伸線後にめっきしたものである。め っき付着量は、最外層線の設定値すなわち呼び値で ある。()内に測定値を示す。試料 の亜鉛・アル ミ合金のアルミの含有率は 5%である。

交差よりロープ[6×37]の 30 では、めっき層 の影響を調べるため亜鉛付着量 3 段階、亜鉛・アル



写真2.1.2 浸漬前の試料

ミめっき1段階の4種類を用いた。同じ構成の16

では、めっきの有無と油の有無を比較するため 3 種類のロープを用いた。したがって、一試験期の試 料の数量は 14 本となる。浸漬前の特性値を求める ための試料 1 組、浸漬試験用 5 組を合わせて 6 組 84 本の試料を各社で分担して作製した。試料の長さは、 諸試験に必要な長さ及び試験タンクの寸法を勘案し て 60 、 30 の試料は 2.7m、16 の試料は 1.4m とした。

各試料の両端末は、海水の浸入を防ぐためプラス チックのキャップを被せて樹脂で固めた。浸漬時の 試料は、タンク では 2.8m×0.8mの木製ベッドに 60 および 30 の試料の中心部と中心部から ± 700mm および ± 1050mm の位置を木製ベッドに合 成繊維ロープで固縛した。タンク では 1.4m×0.3 mの木製ベッドに 16 の試料を中心部と ± 400mm の位置を合成繊維ロープで固縛した。タンク では 2 列 5 段にタンク では 1 列 5 段で浸漬した。写真 2.1.2 に試験開始前の試料を示す。

試料 (油を含ませた試料)を除く全試料につい てワイヤロープの製作時に含ませてある油の油抜き を行った。その方法は、灯油をかけながらプラシで ロープ油を除去した後、一昼夜灯油中に浸漬した。

2.1.4 試験項目および試料の採取

試料の試験項目及び試験方法は、日本工業規格 「JIS G 3525:1998 ワイヤロープ」および「JIS Z2371 塩水噴霧試験方法、付表1化学的腐食生成物 除去方法」に準じるものとした。

a. ロープの試験

<u>外観検査</u>:目視および写真により記録する。

<u>ロープ径</u>:ロープの相対する山部間を2方向以上ノ ギスで測定し、その平均値を求める。

<u>ロープの破断強度</u>:ロープ径 6mm を越え 20mm 以 下のつかみ間隔は 600mm、ロープ径 20mm 以上の つかみ間隔はロープ径の 30 倍以上でつかみ、徐々 に引っ張って破断するまでの最大荷重を求める。ま たは、集合破断荷重から求める。

ロープの破断荷重は集合破断荷重を用いて次式で 定義される。

$$F_b = \frac{100 - \kappa}{100} \times F_a \tag{1}$$

ここに、 F_a :集合破断荷重

 F_h : ロープ破断荷重

:よりべり値 [6×37の値は15%、

JIS G 3525(ワイヤロープ)]

<u>ロープの破断時の伸び</u>:試験機のチャック間の変位 を計測した。

b. 素線の試験

試験本数は、スパイラルロープは各層の 1/6 とし、 心を除いて 3 本以上とする。[6×37]および[IWRC 6×WS(36)]は 1 ストランドとする。

<u>素線径</u>:同一断面の2方向以上の線径をマイクロメ ータで測定し、その平均値を求める。

<u>破断試験</u>:素線径1.0mm 未満はつかみ間隔100mm、 素線径1.0mm 以上はつかみ間隔200mm でつかみ、 徐々に引っ張って破断するまでの最大荷重を測定す る。破断試験の結果は、破断荷重を素線の断面積で 除して破断応力を求め、引張強さとする。

<u>ねじり試験</u>:試験片の両端を、その径の 100 倍のつ かみ間隔で固くつかみ、たわまない程度に緊張し、 その一端を 60 回/min を標準として回転して破断す るまでの回転数を測定する。

<u>めっき付着量試験</u>:腐食生成物の除去前・後につい て測定する。測定法は、JISH 0401 溶融亜鉛めっき 試験方法に規定されている塩化アンチモン法による。 めっき付着量 *A* (g/m²)は次式で算出される。

$$A = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times d \times \frac{\rho}{4} \tag{2}$$

ここで、 W_1 :試験片のめっき層除去前の質量 W_2 :試験片のめっき層除去後の質量d:試験片のめっき層除去後の径(mm)

めっき付着量は3桁を与える。

:鋼の密度 7.85g/cm³

c. 写真撮影要領

試料の外観及び顕微鏡写真の撮影は、写真の大き さや色調等を統一するため、写真撮影要領を決めた。 外観及び内部状況

- 使用フィルム: ISO 100
- 背景紙: PANTONE 279U
- <u>視</u>野:長さはロープ1ピッチを標準(スケールを 入れて撮影)

<u>対象</u>:ロープ、全ストランド、心綱(IWRCもス トランドに分解)、ロープとストランドは同一試料 を用いて別々に撮影

- ロープの断面写真
- 使用フィルム: ISO 100
- 切断面:高速カッター等で切断して研磨
- <u>視 野</u>:指定なし(スケールを入れて撮影)
- 素線断面(めっき層の観察)
- 使用フィルム:指定なし
- 視 野:スケール入り

めっき層の写真:各層1本の素線の周囲4箇所

d.試料の採取

ロープ径 16 については両端から 300mm、30 については両端から 500mm を素線試験の試料とし、 残りをロープの破断試験用の試料とする。ロープ径 60 については、約 2m を破断試験用とし、残りを 素線試験に用いる。

- 2.2 試験結果
- 2.2.1 試験環境

浸漬試験開始(1994年10月11日)から2年間の毎 日9時の室温と水温の記録を図2.2.1に示す。試験 タンクは前述のように外気に対して二重の囲いとな っているため室温と海水温の差は小さい。海水温は



図 2.2.4 近似曲線と近似式の例

外気温より最大で 3 程度低く、最小は 3 程度高 くなっている。試験期間中の海水温の最高温度は約 30 、最低温度は約 6 であり、年間で約 24 の変 動を繰り返している。

試験海水の交換時期と試験期間中の海水の成分変 化を図 2.2.2 に示す。Zn 濃度は海水交換後急激に上 昇し、最初のピークに達してから変動する兆しがみ られる。また最初のピーク値が平均的に低下する傾 向がみられる。Fe 濃度も値は小さいが徐々に低下す る傾向がみられる。

2.2.2 ロープおよび各層素線の特性値

室内における海水浸漬試験で取得した各ロープお よび素線の特性値の変化を図 2.2.3_1~図 2.2.3_3 (本報告の末尾に添付)に示す。図は 一つの試料に ついて左から(a)ロープの破断荷重と破断時の伸び の変化、(b)ロープ径と素線径の変化、(c)引張強さ、 (d)ねじり回数、(e)めっき付着量の順で並べた。

ロープの破断荷重は、ロープ径 60 の IWRC お よび 1×127 については約 2m のサンプルを採って 破断試験から求め、6×37 については、集合破断荷 重から求めた。30 、16 の試料の破断強度は、す べて破断試験により求めた。

浸漬試験に用いた試料は、同一ロットから6セッ ト作製して、1セットから浸漬試験前のデータを採 り、5セットを同時に海水に浸漬して一定期間ごと に1セットずつ引き上げて特性値を求めた。取得し た特性値のデータは、図2.2.3_1~図2.2.3_3にみら れるようなばらつきがある。このばらつきは、多数 の試料を同一条件下に保つことが難しいためと考え られる。このような試験結果のばらつきに対処する ため、各特性値の変化を関数近似して、5年後の最 も妥当な特性値を求めることを考えた。近似関数と しては、今回の実験の範囲でどの項目のデータにも 適用できそうな関数とみられる(3)式の一次関数を 用いた。

$$y = ax + b \tag{3}$$

この式で係数 *a* は劣化の進行速度で通常は負の値、 *x* は時間、*b* は試験開始前の値で初期値である。最 小二乗法により係数 *a* を求めた。

また、それぞれの特性値を統一的に取扱うため、 関数近似から求めた5年後(60ヶ月)の特性値 y60 を初期値 b で除して評価値とした。評価値は、初期 値からの残存量の割合を示す値で、常に1.0より小 さいはずであるが、劣化が小さい項目については計 算上1.0以上の値になる場合があった。それはデー



図 2.2.5 ロープの評価値

タのばらつきと劣化による低下が小さいことから生 じるため、その場合には劣化がないものとして評価 値を 1.0 とした。

本報告の末尾に示す表 2.2.1 は、各項目の近似式 から求めた5年間海水浸漬試験後の各項目の評価値、 表 2.2.2 は、全特性値の初期値、表 2.2.3 は、室内浸 漬試験におけるめっきの腐食速度(めっき付着量の 減少速度)である。

図 2.2.5 に各試料のロープ径、破断荷重および破 断時の伸びの評価値を示す。ロープ径はほとんど低 下がみられないが、ロープ径の評価値が試料 (6× 37 16 Zn70)で 0.984、試料 (IWRC 18 Zn 110)で 0.968 と低下が現れているが、素線径に変化 がないことから、腐食によるものではなくばらつき による一次関数の傾斜によるものと考えられる。

ロープの破断強度は、裸ロープ試料 (16 裸) の低下が最も大きく評価値は 0.343 に低下している。 めっきロープでは試料 の評価値 0.957 が最も低下 している。破断時の伸びは、破断強度の低下に準じ て低下する傾向である。

図 2.2.6~図 2.2.8 に各試料の各層素線(繊維心の 試料では 3、 2、 1、 0)の引張強さ、ねじり 回数、めっき付着量の評価値を示す。鋼心の試料 (IWRC)については、側ストランドの外側から 4 層 (3、 2A、 1、 0)が対応する。横軸は試料の 種類別にロープ径、めっき付着量(上より線の初期 の実測値)の順である。





ープでは試料 (6×3716 Zn70)の外層線が評価 値 0.923 と最も低下が大きい。

ねじり回数は、裸ロープの試料 (6×37 16 Bright)の外層線の低下(評価値 0.023)が顕著であ る。めっきロープでは心線あるいは下層線の低下が 外層線より大きい傾向がある。スパイラルロープで は試料 (1×19 16 Zn 210)の全層素線の評価値 がそろって 0.4 に低下しているのが特徴的である。 また、亜鉛・アルミ合金めっきの試料 (6×37 30

Zn・Al 200)は、引張強さやめっき付着量では類 似の評価値である亜鉛めっきの試料 (6×37 30 Zn 200)に比べて低下が大きい。

めっき付着量については、図 2.2.8 を補うものと して、全素線のめっきの腐食速度(1 年間のめっき の減少量)を、図 2.2.9 に繊維心(6×37)図 2.2.10 に鋼心(IWRC)とスパイラルロープについて示す。 グラフ棒の頂部の数値は各値である。

繊維心ロープは、外層線のめっきの減少が最も大 きく、心線まで段階的に腐食速度が小さくなってい る。鋼心ロープは、試料 についてみると、外層線 (3)外層線と接するIWRC側ストランド側線(11)、これと接するIWRC心ストランド側線(01) の腐食速度が大きい。これは外層線と段階的に接触 するために、海水が流入し易いためではないかと考 えられる。30、18 と径の異なる試料、試料 についても、腐食速度ゼロとなる素線もあって、全 体的に腐食速度は小さいが、傾向は類似している。 スパイラルロープについて、外層線の低下が最も



図 2.2.10 鋼心ロープおよびスパイラルロープの 腐食速度

大きいが、試料 16 1×19 については、ロープ 径に対して素線径が太く、海水の流通し易いために 上から三層のめっきの減少がほぼ等しい結果となっ たものと考えられる。

2.2.3 各層素線断面の観察

写真 2.2.1 は、めっきを施した鋼線の断面写真の 一例で、めっき鋼線断面全体の顕微鏡写真とそれぞ れの側に対応するめっき層の顕微鏡写真である。め っき層の写真には 10μmのスケールが入っている。 鋼線の径は、1.7mm である。鋼線と亜鉛層の間の合 金層は、溶融亜鉛めっきで生成され、耐食性を増や すことが知られている。犠牲陽極として作用する亜



写真 2.2.1 めっき鋼線の断面写真の例



写真 2.2.2 上より線のめき層の変化の例 [試料 6×37 30 Zn 135g/m²]

鉛層と合金層が溶出して、鋼線の表面が露出してか ら鋼線の腐食が始まる。

写真 2.2.2 に試料 [6×37 30 Zn135g/m²]の 外層線の断面写真により、めっき層の変化の例を示 す。上から順に山部、谷部、心接部(図 2.1.1 参照) で、左から順に浸漬期間 12ヶ月、24ヶ月、50ヶ月、 62ヶ月である。全体を観察するとめっき層が溶出し て、次に合金層が溶出する過程がみられる。この変 化の進行は外部に曝される山部が最も速く、谷部、 心接部の順となっている。山部は 24ヶ月で合金層 のみとなって、50ヶ月では合金層の溶出が始まってい る。

3.実海域における暴露試験

3.1 研究の方法

3.1.1 実海域暴露試験の概要

実海域におけるワイヤロープの暴露試験は、1997 年1月27日から12月までの11ヶ月間、横須賀市 夏島町の住友重機械工業(株)追浜造船所東岸壁の沖 約250m東方の海上で実施した。この海域では、メ ガフロート技術研究組合がメガフロート浮体構造物 (長さ300m×幅60m×深さ2m、喫水0.5m)による フェイズ の実証実験を実施中で、その係留用ドル フィンAに供試ロープを取り付けて実施した。図 3.1.1に試験海域の位置、図3.1.2に浮体構造物等の 配置を示す。

3.1.2 試験の経過

供試ロープを設置したドルフィンA付近の水深は 8m である。波浪は有義波高の平均値が 0.5m 以下、 潮汐は月最大 1.3m である。水温は海面下 0.35m で 最高 26 、最低 8 が観測されている。気温は年間 最高 31 、最低 0 の環境である。

実海域暴露試験では1年間の試験期間中に、3ヶ 月ごとに試料を採取して特性値の変化を調査するた め試料は4セット設置した。試料の長さは5mとし、 上端が平均海面から 2.5m の高さになるように設置 した。試料の上端が平均海面上 2.5m、下端が平均 海面下 2.5m であることから厳密には海上部は飛沫 帯に極めて近く、海中部は浅海部であるが、採取試 料は、海上部、干満帯、海中部に分類して取り扱っ た。また、同一試料について、室内における浸漬試





図 3.1.2 浮体構造物の配置



写真3.1.1 暴露試験を実施した浮体構造物

48

験タンクに 11 ヶ月間浸漬して比較データを得た。 試料の設置状況を写真 3.1.1、写真 3.1.2 に示す。 表 3.1.1 に現地における暴露試験の開始から完了ま での作業経過を、図 3.2.1 に試験海域の海水成分の 測定記録を示す。

8月の回収期には、海中部の生物付着が著しく、 その主なものはカラスガイであった。試料に密生し たカラスガイの状況を写真 3.1.3 に示す。

3.1.3 供試ロープ

実海域暴露試験に用いた試料は、交差よりロープ [6×37]、平行よりロープ[IWRC 6×WS(36)](鋼心)、 スパイラルロープ[1×37]の三つのロープ構成につ いて、ロープ径 30 4 種類、16 4 種類および径 2 のめっき鋼線 3 種類 (亜鉛めっき 200g/m²、 700g/m² 及び亜鉛・アルミめっき 500g/m²)の鋼線 の計 11 種類である。表 3.1.1 に供試ロープの主な仕 様を示す。各試料は 2 . 1 . 3 と同様の方法で油抜 きを行った。

3.1.4 試験項目および試料の採取

試料の回収日および暴露期間を表 3.1.2 に示す。 試料は、海上部、干満帯、海中部の試料について2. 1.4 に示した試験方法で各試料の特性値を求めた。

試料 No.	ロープの構成	ロープ径 (mm)	最外層 素線径 (mm)	めっき の種類	めっき付着量 呼び(測定値) (g/m ²)
				Zn	200 (244)
	6 × 37	30	1.40	Zn	135 (171)
				裸(Bright)	
	IWRC 6 × WS(36)	30	1.75	Zn	110 (152)
				Zn	70 (132)
	6 × 37	16	0.75	AI	40 (42)
				裸(Bright)	
	1 × 37	16	2.42	Zn	210 (284)
				Zn	200 (229)
	鋼線	2	2.00	Zn · Al	500 (467)
				Zn	700 (699)

表 3.1.1 供試ロープ

試料ロープからのサンプルの採取は、組織写真と 腐食生成物除去後のロープとストランドの写真撮影 のために、劣化がわかり易い箇所を優先して選んだ。 海上部および海中部では、均一な部分が長いのでサ ンプリングが容易であったが、干満帯では腐食生成 物除去前のサンプルを海上側から、除去後のサンプ



写真 3.1.2 係留ドルフィンに設置した試



写真 3.1.3 試料に付着したカラスガイ(8月)

作業日程	月日	暴露	期間
	(1997年)	週	月
設置	1.17 ~ 26		
試験開始	1.27	0	0
第1回	4.24	12	3
第2回	8.5	27	6.75
第3回	10.3	35	8.75
第4回	12.17	46	11.5



ルを海中側から採取した。ロープ径 16 、30 とも に採取試料の長さは 300mm とした。

3.2 試験結果

3.2.1 ロープおよび各層素線の特性値 実海域における暴露試験結果(実海域におけるロ ープおよび各層素線の特性値の変化)を図 3.2.2_1 ~図 3.2.2_9(本報告最後部)に示す。最上段の図 はロープの破断強度と伸び、凡例および試料の断面 である。下の四段は海上部、干満帯、海中部の列に 素線の径、引張強さ、ねじり回数、めっき付着量の 順に並べた。ロープ径の変化は、海上部の素線の径 と併せて図示した。各図の 12 ヶ月の軸上にある白 抜きの記号は、実海域の暴露試験と同じ 11 ヶ月間 室内実験の海水タンクに浸漬した試料の測定値であ る。実海域暴露試験で取得した各特性値の変化は、 室内浸漬試験と同様に一次関数で近似し、12 ヶ月間 暴露後の特性値 y12を初期値 b で除して評価値とし た。

本報告の末尾に示す表 3.2.1 は 12 ヶ月間実海域に 暴露後のロープおよび全素線の評価値、表 3.2.2 は (298)



全特性値の初期値、表 3.2.3 は実海域暴露試験にお けるめっきの腐食速度である。表 3.2.1の評価値は、 腐食速度が大きく 12 ヶ月経過せずに評価値がゼロ となる項目については、ゼロとなった月数を表に (11.3)のように記入した。

図 3.2.3 にロープ径、破断荷重および破断時の伸 びの評価値を示す。表 3.2.1 からもわかるようにロ ープ径には低下がみられない。破断強度の低下がみ られるロープは、めっきロープの試料 (6×37 30



図 3.2.5 各層素線のねじり回数

Zn135)の評価値が 0.958、裸ロープでは試料 (6×37 30 Bright)が 0.871、試料 (6×37 16 Bright)が 0.689 である。

図 3.2.4 ~ 図 3.2.6 に各層素線の引張強さ、ねじり 回数、めっき付着量の 12 ヶ月間暴露後の評価値を 示す。各図の上から海上部、干満帯、海中部の評価 値で、横軸は試料の種類別にロープ径、めっき付着 量の順で、繊維心、鋼心、スパイラル、めっき鋼線 である。凡例は繊維心ロープおよびスパイラルロー







図 3.2.6 各層素線のめっき付着量

プの外層線 3、内層線 2、下層線 1、心線 0 で 示したが、鋼心ロープでは外層線 3、内層線(太)

2a、下層線 1、心線 0が対応する。めっき鋼線 試料 、 、 のについては、干満帯からのサンプ ルの採取を行っていない。素線の径につては、ほと んど変化がみられないので図を省略した。

図 3.2.4 の引張強さについては、裸ロープでは試 料 (6×37 30 Bright) は海上部の外層線が評 価値 0.742、試料 (6×3716 の外層線が評価値 0.418 と最も小さく、外層の素線 ほど低下が大きい傾向である。めっきロープについ ても外層の素線の低下が大きい傾向がみられるが、 その傾向は裸ロープほど大きくない。海上部、干満 帯、海中部の暴露環境による差は顕著ではない。

図 3.2.5 のねじり回数については、裸ロープの試 料 (6×37 30 Bright)の外層線の評価値が海 上部は 11.2 ヶ月、海中部は 10.5 ヶ月で、試料 (6) Bright)の外層線が海上部で9.9ヶ月、 ×37 16 干満帯で10ヶ月、海中部が9.7ヶ月でゼロになっ ている。アルミめっきの試料 (6×3716 Al 40)

3

3のめっ

き初期値

16 AI 40

50

2 1

Ο 🗆



図 3.2.7 めっき付き試料各層素線のめっきの腐食速度

52

年

は、海中部の心線の評価値が 0.821 のほかは、いず れの暴露環境でも低下がみられない。スパイラルロ ープの試料 (1×37 16 Zn 210)では、海上部 で外層線が評価値 0.4 に低下しているのみである。 めっき鋼線の試料 、 は、めっきの初期値が 大きいほどねじり回数の低下が大きい傾向が顕著二 現れている。試料 (2 Zn 700)の鋼線は海中部 の評価値が 11.3 ヶ月でゼロとなっている。試料 (6 ×37 16 Al 40)および試料 (1×37 16 Zn 210)では、低下がみられるのは試料 では海中部 の心線、試料 では海上部の外層線のみである。

全体では外側の素線ほど低下が大きい傾向であり、 外層線の低下は干満帯と海中部は同程度で海上部が やや大きい。

図 3.2.6 のめっき付着量の評価値を補うものとし て、全素線のめっきの腐食速度(1 年間のめっきの 減少量 g/m²/年)を図 3.2.7 に示す。12 ヶ月以内に めっきが溶出してしまった場合には評価値がゼロと なるが、腐食速度は腐食が生じない(評価値=1.0) 場合にゼロとなる。図中の一点鎖線は、外層線のめ っき付着量の初期値である。したがって、この一点 鎖線を交わった時に評価値がゼロとなる。各図外層 線から心線までの腐食速度を海上部、干満帯、海中 部に対して示した。めっき鋼線 2 については、試 料ごとに海上部と海中部の値を示した。頂部の数値 は各棒の値(腐食速度)である。

全体をみると、試料 30 Zn 200 のように外 層線から心線まで段階的に腐食速度が下がる型、試 料 30 Zn135 の干満帯や海中部のように外層 線から心線まで腐食速度がそろう型、試料 16 Al 40 のように外層線から心線まで段階的に腐食速 度が上がる型の三つに分類される。

また海上部、干満帯、海中部に対しては、海上部 が小さく干満帯と海中部が同等の型(試料、試料

、試料 、試料)、海上部、干満帯、海中部が、 ほぼ同等の型(試料)、海上部と干満帯が同等で海 中部が大きい型(試料)に分類される。めっき鋼 線の試料 、試料 、試料 は、いずれも海中部の 腐食速度が大きい。

3.2.2 外観および各層素線の断面観察

写真 3.2.1_1_~ 写真 3.2.11_4(本報告の末尾に添 付)に試料回収時のロープの外観、分解時の腐食生 成物除去前・除去後のロープとストランドの外観お よび外層線山部の素線の断面写真を海上部、干満帯、 海中部に分類して示す。回収時のロープの外観は、 引きあげ直後にほとんど清掃しない状態の写真であ る。腐食生成物除去前と腐食生成物除去後とは、 「JIS Z2371 塩水噴霧試験方法、付表 1 化学的腐食 生成物除去方法」による処置を施す前と後である。 また、外層線山部の素線断面写真は、断面全体の顕 微鏡写真の上下左右に対応する周辺のめっき層の顕 微鏡写真(スケール入り)で、素線の径を余白に記 入した。また下部に説明を付けた。

写真 3.2.1_1~4(試料 Zn 200g/m²)、写真 3.2.2._1~4(試料 Zn 135g/m²)から、暴露期間 の経過とともにめっき層が溶出し、次に合金層が溶 出して鋼線へと腐食が進行する過程をみることがで きる。3ヶ月を経過する頃には、すでに鋼線の腐食 が始まっていることがわかる。暴露環境が海上部、 干満帯、海中部へと下がるほど腐食の進行が大きく なる傾向である。

写真 3.2.3_1~4(試料 [6×37 30 Bright])お よび写真 3.2.7_1~4(試料 [6×37 16 Bright]) は、いずれも裸ロープ(Bright)と呼ばれるめっき のない試料で、試験開始と同時に海上部、干満帯、 海中部ともに腐食が始まり、3 ヶ月経過時にはかな り進行していることがわかる。裸ロープについては、 30 より 16 の試料が腐食の進行が大きい。これは、 表 3.2.1 の引張強さおよびねじり回数の評価値を裏 付けるものとなっている。 写真 3.2.4_1~4(試料 [IWRC 6×WS(36)])は、 海上部では 11 ヶ月暴露後に合金層が残っているの がみられる。写真 3.2.5 は試料 [6×37 16 Zn 70g/m²]で腐食の進行が小さく、素線断面に変化が みられるのは 11 ヶ月間暴露後の海中部のみである。 写真 3.2.6 は試料 [6×3716 Al 70g/m²]で、11 ヶ月暴露後の海中部についてもめっき層が全周に残 っているのがみられる。

写真 3.2.8_1~4 は試料 [1×37 30 Zn 210g/m²]で、海上部、干満帯、海中部がほぼ均等に



写真 3.2.12 暴露 6 ヶ月後の各層断面 (試料 [× 37 30 Zn 135g/m²])



写真 3.2.13 暴露 11 ヶ月後の各層断面 (試料 [× 37 30 Zn 135g/m²])

外層線のめっきが減少している経過がみられる。

写真 3.2.9_1~4 は試料 [2 Zn 200g/m²]、写真 3.2.10_1~4 は試料 [2 Zn・Al 500g/m²]および 写真 3.2.11_1~4 は試料 [2 Zn 700g/m²]である。

写真 3.2.12 および写真 3.2.13 に試料 の 6 ヶ月 間および 11 ヶ月間暴露後の各層素線断面の状態を 一例として示す。この写真から腐食の進行状況をみ ることができる。外層素線ほど腐食の進行が大きく、 海上部より干満帯、さらに干満帯より海中部へと腐 食が進行する傾向がみられる。

4.考察

- 室内の海水浸漬試験と実海域の暴露試験では、腐 食の進行速度に大きな差があることがあきらかであ る。裸ロープ(6×3716)の破断強度について、 実海域の暴露試験の条件で評価値0.3(室内浸漬 試験の60ヶ月)に達するまでの期間を推算する と28ヶ月である。したがって、裸ロープの破断 強度に関する腐食劣化速度は、実海域暴露試験 では室内浸漬試験の2倍程度である。
- 2) 室内浸漬試験と実海域暴露試験における、同一 規格の試料について、めっきの腐食速度の比較 を表 4.1 に示す。その比率は 5~20 倍のように 幅があるが、実海域の腐食速度が常に大きい。 室内浸漬試験では、静穏な水中で化学変化によ って生成される腐食生成物の皮膜による防食効 果が大きく、一方、環境条件の厳しい実海域で は、めっき層が犠牲陽極として溶出するため、 腐食速度が大きくなったものではないかと考え られる。
- 3) 室内浸漬試験において、図 2.2.2 にみられる海 水交換直後から亜鉛濃度が上昇して下降する (再度上昇する場合もある)現象は、電気防食 時に表面に形成されるエレクトロコーティング の可能性が示唆されるが、現段階で確認するこ とはできない。海水交換直後の短い期間に腐食 が進行して停滞するというサイクルが海水交換

のたびに繰り返されていたものと推測される。 同様の浸漬試験を行う場合、試験海水の分析と ともに、腐食生成物の分析が重要である。

- アルミめっきの試料 は、引張強さ、ねじり回 数ともに全く低下がみられない。また、めっき付 着量の減少も比較的小さく、耐食性が優れている。
- 5) 写真 3.2.2_1 など繊維心ロープでは、ストラン ドの心接部に腐食痕があるが、鋼心ロープ [IWRC 6 × WS(36)]にはみられない。これは心綱 の繊維ロープに含まれている空気が腐食を促進 しているものと考えられる。
- 6) 室内実験でのねじり回数や実海域実験でのめっ き付着量のように素線の評価値の低下が外部よ り内部の方が大きい現象は、実働環境下のワイ ヤロープの内部腐食との関連について調査する 必要がある。
- ワイヤロープの交換基準は、一般的に破断荷重
 20%低下時とされている。これに準じて室内実
 験と実海域実験から得られた評価値を用いて、
 30 と 16 のめっき ロープと裸ロープについ
 て、破断強度が 20%低下する期間の予測を試み

	外層線のめっ	きの腐食速度
試料	室内浸漬 試験	実海域暴露 試験(海中部)
[6×37] 30 Zn 200	15.7	320.0
″ 30 Zn 135	18.4	242.1
″ 16 Zn 70	14.7	125.3
[IWRC] 30 Zn 110	5.0	104.5

表 4.1 めっきの腐食速度の比較

表 4.2 強度 20% 低下期間の推算(月)

		室	内	実活	每域
		めっき ロープ	裸ロープ	めっき ロープ	裸ロープ
	試 料				
20	評価値	0.981		0.958	0.871
30	20%低下 (月)	630		57	18
	試 料				
16	評価値	0.993	0.343	0.993	0.689
10	20%低下 (月)	1714	18	343	8

た。その結果を表 4.3.1 に示す。評価値のわず かな変化からの予測であるため、大きな誤差を 含んでいると思われる。裸ロープについては、 室内実験、実海域実験ともに 16 の試料につい ては、腐食劣化が十分に進行したデータを用い た内挿値である。30 の試料については、評価 値 0.87 からの推算値であるが、図 3.2.2_3 のロ ープの破断荷重から判断して概ね妥当な値と考 えられる。この結果から、10%程度の強度低下 のデータに基づいて 20%低下の予測は可能と みられるが、精度よく腐食劣化を予測する資料 としては、ロープの破断荷重の低下が 30%程度 までの実験データが必要と考える。

5.まとめ

この研究では、無負荷状態のワイヤロープについ て室内における実海水浸漬試験と実海域における暴 露試験を実施した。実験的に多くの知見が得られた が、まだ十分に説明できない現象も残った。今後の 検討に備えて、可能な限り生データに近いものを掲 載するよう努めた。膨大な写真データについては、 一部の紹介にとどまった。

ワイヤロープを使用するにあたっては、疲労によ る劣化、磨耗による劣化および腐食による劣化を的 確に判断することで安全性が図られる。こうした維 持管理の資料として、さらに多様な環境下における ワイヤロープの腐食に関するデータの蓄積が必要と 考える。この研究結果が、今後の研究の中で基礎デ ータとして活用されることを期待する。

謝 辞

実験当時、メガフロート技術研究組合追浜事務所 長木下所長をはじめ関係者の方々、元東京製綱㈱谷 口運氏、同神田育治氏、同甲斐康幸氏、同倉本広志 氏、東京製綱㈱円句幸作氏、元神鋼鋼線工業㈱篠原 (304) 浩一郎氏、元㈱テザックワイヤロープ築田凌一氏、 坂本洋志氏、奥健一氏、西村貴伸氏、元興国鋼線索 ㈱木津和富夫氏、元船舶技術研究所井上令作氏、菅 信氏、在田正義氏、当所の大松重雄氏、原正一氏、 星野邦弘氏、佐藤宏氏、国分健太郎氏には、この研 究を進めるにあたって、ご支援とご協力をいただい た。お礼を申し上げる。

また、京都大学工学研究科花崎紘一教授、塚田和 彦助教授には、資源・素材学会ワイヤロープ研究会 で度々発表の機会をいただき、貴重な助言をいただ いた。ここに、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) ワイヤロープ便覧、(1967)、白亜書房
- ワイヤロープハンドブック、(1995)、日刊工業 新聞社
- 福野禎太郎:ワイヤロープの劣化とその対策に
 関する研究、(学位論文)(pp72-90)
- 4) 秋山英司、近藤太二、袴塚禎三:海水によるワ イヤロープの腐食について、労働省産業安全研 究所報、No.3(1962)
- 5) 山川賢次、塩谷益雄、守谷敏之:実海域におけるワイヤロープの耐食性の経年変化に関する調査、資源・素材関係学協会合同秋季大会 (1989.10)、 (pp47 - 50)
- 6) 山川賢次、築田凌一、西村貴伸、木津和富夫、 早崎清志、鯖江俊彦、守谷敏之、甲斐康幸:海 水によるワイヤロープの腐食劣化の研究 (その1)資源・素材関係学協会合同秋季大会 (1995.9)、(pp19 - 22)
- 7) 山川賢次、国分健太郎、木津和富夫、早崎清志、 鯖江俊彦、守谷敏之、円句幸作、坂本洋志、岡 畑成樹、井上新也、:海水によるワイヤロープの 腐食劣化の研究(その2.実海域における暴露 試験)、資源・素材関係学協会合同秋季大会 (1997.9)、(pp164 - 167)
- 4) 山川賢次、木津和富夫、早崎清志、鯖江俊彦、 坂本洋志、井上新也、守谷敏之、倉本広志、:海

水によるワイヤロープの腐食劣化の研究(その 3.実海域における暴露試験結果)、資源・素材 関係学協会合同秋季大会 (1998.10)、 (pp107 -110)

- 9) 山川賢次、木津和富夫、早崎清志、鯖江俊彦、 坂本洋志、西村貴伸、守谷敏之、村上卓也:海 水によるワイヤロープの腐食劣化の研究(その 4.実海域における暴露試験の写真データの整 理)、資源・素材関係学協会合同秋季大会 (2000.10)、 (pp195 - 198)
- 10) 腐食防食協会:防食技術便覧、日刊工業新聞社、 (1986.11)、(pp197 - 216)
- 11) 呂 戊:金属の化学、日刊工業新聞社、(1969.1)

図 2.2.3_1 ~ 図 2.2.3_3 海水浸漬試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化

図 3.2.2_1 ~ 図 3.2.2_9 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化

- 表 2.2.1 室内浸漬試験 60 ヶ月の評価値
- 表 2.2.2 室内浸漬試験における各特性値の初期値
- 表 2.2.3 室内浸漬試験におけるめっきの腐食速度

表 3.2.1 実海域暴露試験 12 ヶ月の評価値

表 3.2.2 実海域暴露試験における各特性値の初期値

表 3.2.3 実海域暴露試験におけるめっきの腐食速度



図 2.2.3_1 海水浸漬試験におけるロープ



海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 61

および各層素線の特性値の変化



図 2.2.3_2 海水浸漬試験におけるロープ



0 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66

海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 63

および各層素線の特性値の変化

0 6 12 18 24 30 36 42 48 54 60 66





海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 65

および各層素線の特性値の変化



図 3.2.2_1 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 30 Zn 200 g/m²]



図 3.2.2_2 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 30 Zn135g/m²)



図 3.2.2_3 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 30 めっきなし)

海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 69



図 3.2.2_4 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (IWRC 6×WS(36) 30 Zn 110g/m²)



図 3.2.2_5 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 16 Zn 70g/m²)

(318)

海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 71



図 3.2.2_6 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 16 Al 40g/m²)



図 3.2.2_7 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (6×37 16 めっきなし)

海上技術安全研究所報告 第3巻 第3号 (平成15年)研究報告 73



図 3.2.2_8 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (1×37 16 Zn 210g/m²)



図 3.2.2_9 実海域暴露試験におけるロープおよび各層素線の特性値の変化 (Wire 2 Zn 200g/m², Zn・Al 500g/m², Zn 700g/m²)

ヶ月の評価値
11
60
遺試験
ШX
Ł
Įκ
2.2.1 3
喪

•	「「「「「」」	100		1-0			**	種			である				# 3CV@	*		8	し降な場		
£	*			發展濃度	運転時の	62	82	\$1	69	63	\$ 5		60	9.1	32	31	00	1 : 69	12 : 2		9.0
	Θ	60 th Zin 230	1.0	0.957	'	0.998	0.999	0.996	1.0	0.995	0.994	0.998	1.0	0 808.0	832 0	872 1	000	833 1.6	00	98	882
	8	30 dh Zin 100	1,0	01	2	9	9	9	01	0.973	0.959	0.966	0.972 (0.863 0	0.913 0	970 0	751 0.	456 0.	559 0.7	45 0	ŝ
	0	30 0 Zn 135	0.995	0.981	0.883	2	8	9	0.999	0.949	0.952	0.968	0.985	0.962 0	967 0	859 0	852 0.	474 0.	100 802	10	8
44.77	•	30 \$ Zh 200	0.992	0.981	0.883	0.992	0.992	0.992	0.1	0.954	0.958	0.963	0.966	0.827 0	0 168	992 0	887 0.	649 0.5	\$24 0.9	16 0	58
22		30¢ ZN-M 200	2	0.996	9	2	2	6	0.1	0.936	0.939	0.956	0.955	745 0	771 0	750 0	561 0.	629 0.	30 824	8	920
	1	16 ¢ Zn 70	0.991	0.993	2	2	2	9	01	0.923 : 0	0.985	0.996	2	0.627 0	0 606	942 0.	739 0.	209 0.4	157 0.6	21 0.	55
	Ð	単のた いて ゆきい	0.984	01	9	2	0.999	9	0.996	1.0	0.992	0.987	0.999	0.954 0	985 0	900	769 0.	282 0.1	551 0.6	29 0	ĝ
	0	16.0 種	0.998	0.343	0.533	9	9	01	,	0.624	0.951	0.969		0.023 0	782 0	979	-				
						2.2	122	131 131	22 . 1920	2 : 5	189	5 · 5	2. B4	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	124 128	104	41 106	1 1 1	122		3.3
						0	9	5	0,1	0.994	166.0	0.997	0.992	000	0 776	813	0	774 0.5	225 0.5	15 0.	937
	8	00 ¢ Zn 200	0.993	0.981	0.713		9				1.0			0	125			0	105		
1						9	9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1,0				- 0	536 0.6	0 64	185 0.1	874
E X WS(36)						9	9	1.0	1.0	0.990	0.1	0,1	0,1	0.878 0	0 686	851 : 0.	774 0.	808 0.5	1	6	2
	8	30 \$ Zh 110	0.999	0.995	0.968		2				1.0				978			10	8		
						ç	9	5	0,1	01	1.0	1.0	1.0	0.767 0	978 0	767 0.	849 0.	789 0.	727 0.7	18	9
						97	2	9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.927	9	0	1.0	808 0.6	009	0 68	997
	8	18¢ Ze 210	0.968	9	2		2				1.0				796			9	121		
						9	9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.767 0	1798	9	01	0.1	167 0.5	82 0.	80
						22	89	1 2	83 -	85 82	85 81	84 80	еę -	86 82	89	94 60	59.	86 52		+ 0	2 .
1 × 127	2	80.4 Zr 270	0.994	0.981	0.938	2	9	1.0	1.0	0.986	0.984	0.981 0	0.992 (0 858.0	974 0	942 0	927 0.	786 1	0	0	2
						10	5	1		1.0	0.992	-		0 879 0	948	-		9	0		
						¥ 0 0	5g -	2 ·		84 80 80	90	82	÷ -	84 80	89	59	10	54	2.		
1 × 61	0	30¢ Z= 260	1.0	2	2	2	9	0	1.0	0.970	0.965	0.959	0.983	0.897 0	0.926 0	871 0.	822 0.1	842 0.5	331 : 0.5	16	2
						1.0		Barrow		1.0				1.0			0	148			
1 × 14	1		111100		States and	1.41	1141	States and	10	20	40.5		10.00	22		1 2	40	8			2
EST 8 989 51 55	2	18 \$ Zn 210	1000	90 ⁻	0.929	2	2	2	1.0	0.989 : (3.978 . 0	0.972 1	0.939 (396 0	417:0	383 0	401 0	725 0.6	0 01	0 86	910
室内浸漬試験における特性値の初期値																					
--																					
四 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1																					
表 2.2																					

	and a		1 COMPANY	コーン(目	1	11000	1000	E C mm	1122233	1000000	12421	St County		1 (BOOM)	10,154		100000000000000000000000000000000000000	10010000	1000	Survey 1	
1		公時僅	*	动振荡场	STR.	0 62	62	9	0.0	63	42	41	00	68	22	1.10	9.0	1 20	52	: 19	40
	Θ	60 th Zri 230	63.2	2110.0	Ľ	2.82	2.82	2.82	3.35	1754	1754	1749	1711	28.0	28.0	27.0	25.3 2	274.0 2	0.680	88.0 2	53.0
	0	30.4 Zn 100	31.7	508.2	5.2	8 :	1.40	1.40	5	1712	702	1673	1553	39.0	39.5	40.7	49.0	137.8	100	29.9	60.4
	0	30 ¢ Zn 135	31,5	485.1	68	1.40	1.40	1	2	1599	1589	1567	1553	23.7	22.7	22.3	49.0	121	76.9	82.1	56.0
8×17	•	30¢ Zn 200	31.7	485.1	8.9	1.42	1.42	1.42	2	1593.0	1593.0	1584.0	1553.0	21.3	24.6	16	226	2227 2	22.5 2	17.6	52.5
	Ø	20¢ Zn-Al 200	31.5	453.7	¥	\$ <u></u>	9 . [÷.	2	1522.0	1509.0	1484.0	1455.0	45.0	432	45.0	59.0	235.3 2	35.0 2	32.3 2	94.0
1991	0	16 \$ Zn 70	16.6	135.0	4 .8	0.75	0.77	0.78	0.93	1588.0	1490.0	1450.0	1519.0	1 30	35.0	41.0	48.0	93.0	90.0	03.0	69.0
	0	164 Zr 7015	16.6	137.0	5.5	0.77	0.77	0.78	0.93	1598.0	1526.0	1455.0	1498.0	8 8	35.0	410	48.0	93.0	90.0	03.0	69.0
	0	160 W	16.8	147.0	4.9	0.75	0.76	0.77		1715.0	1627.0	1617.0	,	45.0	35.0	35.8	1000		1000		
						÷	44.9	÷-2	01 B.4	44 104	4#2	ų . ų		1.1	100	÷ - 2	s . 8	5 · E		 5 - 5	÷.8
	0					3.51	2.79	2.86	3.92	1717.0	1590.0	1542.0	1884.0	23.1	25.0	26.0	-	285.4 2	74.6 2	50.4 2	75.0
		80.0 Zn 200	62.6	2528.4	5.4		2.14				1621.0				29.0				43.4		
U.L.						2.53	2.71	2.91	2.68	1817.0	1699.0	1711.0	1783.0		,			131.7 2	58.0 2	48.5 2	68.0
(9E)SM × 9						5	<u>s</u>	1,38	a,	1872.0	1929.0	1898.3	1929.0	43.2	47.0	52.8	39.1	127.0	080	10.01	28.0
		30¢ Zn 110	30.9	665.3	6.7		5				1817.9				52.7				96.0		
						125	148	1.46	1 8	1832.6	1835.9	1817.9	1832.6	40.5	42.1	40.5	43.2	100.0	08.0	10.0	07.0
						1.05	0.86	0.86	1.19	1636.6	1823.5	1633.3	1404.7	43.3	44.0	42.0	31.0	166.0	66.0	47.0 1	40.0
	9	18 4 Zn 210	18.6	233.2	6.2		0.65			No.	1626.8				48				75.0		101
						080	0.88	0.88	0.87	1868.5	1638.2	1639.9	1940.4	41.5	42.3	41.8	41.0	35.0 1	45.0	47.0 1	40.0
						99	85	80	ŝ	2.2	69 51	84 80	¢2	92 92	84	80	- eg	9 C C	9 P	94 50	29
1×127	9	60¢ Zn 270	65.9	4253.2	6.2	8	507	5.07	5.06	1779.9	1784.3	1771.5	1772.5	26.0	26.0	27.0	27.0	352.0 3	37.4 3	37.4 3	25.1
						5.07	5.05	5.61		1776.0	1790.7	1689.0		27.0	26.0	25.0		335.5 3	23.5 3	41.0	
						* 0 9	8 ·	2g -	1g -	202	¢2	24	5.	* 0 8 4	g .	а 1	÷.,	8 Q 9 Q	ç, .	29	61 -
Ixel	0	30¢ 24 260	30,6	879.3	8.5	345	343	3.40	8, 3.45	1656.0	1656.0	1656.0	1627.0	30.0	28.0	30.0	29.0 3	381.0 3	84.0 3	70.0 3	76.3
						3.59	112211			1588.0			1000	30.0				382.0			
1 X 16	6	**************************************	(NOTION)	THE REAL FROM		11.11	1000	1.1	30	2 . St	1.40		40	111	10000	3 38	80		52	1111	9.0
	9	184 Zn 210	16.8	274.0	9.7	2.4	24	2.4	2.7	1634.0	1626.0	1637.0	1601.0	21.1	20.5	21.3	22.0 2	283.8 2	98.0 3	00.0 2	98.0

	試料	ļ ,	15/5	め	っきの腐食速	速度 (g/m²/年	≡)
第 〕 〕	番号	2	公利1但	3	2	1	0
		60	Zn 230	9.133	0	13.386	5.963
		30	Zn 100	14.993	11.468	6.618	5.208
		30	Zn 135	18.406	9.269	3.962	0
007		30	Zn 200	15.654	7.852	3.665	0.083
0 × 37		30	Zn · Al 200	17.450	12.791	8.995	2.940
		16	Zn 70	14.707	9.782	3.678	1.578
		16	Zn 70油	13.356	8.078	3.516	7.010
		1	6 裸				
				3	2A 2B	1	0
		*****	Zn 200	11	10	01	00
				12.886	4.118	4.271	3.466
		60			0.240		
				12.226	7.808	25.600	6.713
				5.011	0.131	0	0
0 × 110(00)		30	Zn 110		0		
				4.571	5.832	4.519	0
				12.988	12.988	0.169	0.018
		18	Zn 210		5.050		
				0	4.735	2.670	13.648
1 × 127				6 2	5 1	4 0	3 -
		60	Zn 270	-15.059	0	0	0
				0	0	-	
				4 0	3 -	2	1 -
1 × 61		30	Zn 260	12.072	5.012	0.930	0
				3.965			
1 × 10		40	70.040	3	2	1	0
1 × 19		16	Zn 210	15.620	18.298	16.271	5.366

表2.2.3 室内浸漬試験におけるめっきの腐食速度

冟
誹
6
町
ŕ
12
実海域暴露試験
3.2.1
表

圁

1	MA			1				*	-			1916	10			400 B	-			12acq	-	
# #	**	# な る		書葉			20 40	42	10	60	£3	42	đ 1	50	4 3	đ2	50	e te	63	52		9.0
- 14 M M	Θ	90 ¢ 2:200	666'0	5	606.0	19-10 ###	0.991	101	299	01	0.832	01	229	323	0.468	0.736	926) 1961) 1961	9.5) 0.	301 0	729 824	0000
5×37	0	30.4 Zn185	0.967	0.958	0.657	御山橋	0.993 0.993	0.995	0.996	0100	0.940	0.910	0.973	1.0	0.484	1.0	926 912 981	0.00	437 0.417 0.417	751	822 402 399	0.205
	0	30 ¢ Bright	1.0	0.871	0.710	金融十二	666.0	1.0	0,939	965'0 965'0	0.742 0.838 0.821	9160	0.992	01100	0.008	1385	768 857	0.0.0	cuter			
							119	255	14 - 2	ų . į	2 - 5	582		10 10	2 · 2	<u>0</u> 02	5 · 8	2.3	5 : E	1000	6 · 5	g . 5
	332.00					建丁烯	0.987	99	1.0	1.0	0.958	101	16610	0.936	0.424	1857	0.1	1867 0	234 0	595	169	0.952
MRC 4×	ie.	30.6					166.0	9	10	01	0.976	9	0.959	666.0	1954	686	0	0.1	558 0	834 0	764	2
(BC)GR	,	Zn110	1.0	0.973	0.814	###±	01	99			116.0	0.988	0.974	266 0	0.90	1.0	116	0 00000	0 696	662	698	0.683
							1260	0.964	2 2	2 9	0.996	0.690	0.982	01	0.940	9260	646	1.0	1558 0.	82	2	2
						3 0.6	646.0	0.997	0.997	0.594	1.0	93	0.915	01	800	99	1000 o	01	0 649	158	612	2
		\$01	91	0.993	10	新山市	6660	6960	0.980	01	0.958	0.996	29	01	0.629	658	812	847 0	0 010	504 0	148	0.827
		Zn/8				副白橋	0.965	0.983	0.982	10	0.917	10		1.0	0.665	0.848	822	000	051 0.	325	129	1880
6×37	۵	16¢ N 45	6.	1.0	1.0	第4章 第4章	1.0	0101	0.1988	1.0	0.975	0800	0.997	0.988	999	999	999	1.0 0	1.0	10 10 763	1.0	0.065
	0	15¢ Bright	66610	0.669	0.531	第二章 第二章	0.994	919	0.994	999	0.418 0.455 0.519	0.653	0.875	1.0	(0.0)	147 0	1210	595 595	(1011)			
1 × 37		16¢	0.034	9	9	1918	0	01	2	0.994	0.900	2	1160	0.958	0.418	9	0	01	0 (61	372 0	111	0.624
		Zn210		2	2	第中部	0.998	0.930	29	0.581	0.990	2	0.975		3 3	33	2 9		0.7)	0.7)	(9.0	8.6
	Ð	82	z	1 200		第七章	1.0				0.634			-	1.0	1910		010	9.7)			
Wire	8	26	Z	-AI 500		第十篇	1,0				0.891			-	0.640			010	529			
	0	24	2	u 700		お白紫	0.982				0.928				10.130			0.0	366			

専域暴露試験における特性値の初期値
実海
表 3.2.2

	H			h-0			新闻 田	sau)			引援後後	ON/min ²	1		ALC!	盤問		50	書いる	1.00	5
*	工業中	- 43	# (j	編編 (NF)	Ness:	53	2	5	2	2	62	10	ē 9	89	đ2	ē.	*	ŝ	ŝ	51	80
	Θ	Zn 200	31.3	499.4	6.5	1.40	1.40	1.39	1.39	1570.0	1630.0	1617.0	1612,6	47.7	48.1	44.8	41.8	243.7	208.5	229.2	220.6
8×37 30¢	0	2n 135	31.4	538.0	8.7	1.41	1.41	1.41	1.70	1814.2	1506.3	1824.0	1804.4	43.6	42.8	45.5	30.0	171.2	157.4	155.5	199.0
	0	Bright	31.9	515.8	4.8	1.40	1.40	1.40	ı	1700.0	1695.0	1730.0	1850.0	35.3	35.8	33.3	37.0				
						2 - E4	222	10	9. S	12	482 482	÷	\$. ¥	4 : iq	1000	5 · 2	2.2	8 · F	185	4.5	211 - 100
9-06 (190) 2 X 8 (190) 2 MMR(0) 2 MMR(0	9	20110 Zal1U	30.7	737.0	51	1.75	1.42	1.40	1.45	1994.0	2062.1 2004.8 1548.6	2083.7	2977.8	38.0	39.0 42.0 37.0	36.0	32.0	1520	118.0	116.0	248.0
	6	01 VZ	16.7	145.0	5.0	0.76	0.76	0.78	0:90	1884.71	1643.09	1621.44	1556.83	45.00	43.00	45.00	41.00	132.00	143.00	166.00	178.00
6×37 18¢	9	AI 40	16.3	1378.4	4.5	0.76	0.76	0.78	0.91	1539.64	1539.84	1500.40	1618.10	34,00	35.00	35.00	36.00	42.20	42.20	43.00	51,00
	0	Bright	17.2	157.0	1.4	0.75	0.75	0.75	0.89	1894.64	1859.74	1915.24	1755.39	45.80	46.80	44.00	44.00				
1×37 16¢	9	Zn 210	18.9	271.0	10.5	2.42	2.44	2.44	2.70	1634.00	1626.00	1637.00	1602.00	21.10	21.10	21.10	22.00	283.80	298.00	283.20	298.10
			2 \$ 2	200		2.03				1411.00				24.40				299.00			
ţ	۲		-42 ¢ 2	AI 500		2.01				1107.00			1121	32.00				467.00			
	8		2 ¢ 2	700		2.05				1098.00				43.00				699.00			

	試			めっき	の腐食	速度(g/	m ² /年)
構成	料番号	公称値	露環境	3	2	1	0
			海上部	242.1	115.7	74.5	8.0
		30 Zp200	干満帯	307.9	145.9	62.2	0
		211200	海中部	320.0	139.0	40.5	20.3
			海上部	242.1	115.7	74.5	8.0
6 × 37		30	干満帯	3907.9	145.9	62.2	0
		ZN135	海中部	320.0	139.0	40.5	20.3
			海上部	020.0	10010	10.0	
		30	干満帯				
		Bright	海中部				
				3	2A	1	0
				-	2B	-	-
				110	10	24.5	12.0
			海上郊	110.4	40.0	24.3	12.0
			/유구마	- 4 4	35.1	00.7	
IWRC		30		54.4	43.2	26.7	0
6 × WS(36)		Zn110	干満帯	96.0	30.8	15.3	29.0
					31.5	0.0	
				54.4 104.5	30.8	0.0	0.0
			海中部	104.5	41.9	15.7	12
				37.0	28.6	44.7	0
		16	海上部	80.2	70.9	84.5	30.9
		Zn70	干満帯	114.7	126.3	98.9	30.6
		2	海中部	125.3	96.5	79.6	20.7
6 × 27		16	一 海上部 一 工 法 世	0	0	0	0
0.007		AI 40	一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一	12.5 5.3	0.0	137	20.0
			海上部	0.0	10.0	10.7	20.0
		16 Bright	干満帯				
			海中部				
		16 Zn210	海上部	285.4	187.0	149.7	112.0
1 × 37			干満帯	286.2	253.6	204.3	163.4
			一 海 中 部 海 上 部	318.1	334.6	315.0	374.3
				243.3 381.0			
			海上部	219.8			
Wire		Wire	海中部	428.9			
			海上部	443.2			
			海中部	745.6			

表3.2.3 実海域暴露試験におけるめっきの腐食速度

実海域暴露試験

ロープとストランドの外観 および 上より線山部の断面

断面写真の凡例





の表面とストラフトの心接部に黒い腐良根。 【飯町何里:492.5KN(初期値:494.5KN)) 断面:海上部1/4、2/4、3/4面にめっき層残存、4/4面は腐食進行。干満帯2/4面にめっき層残存、1/4,3/4,4/4面で腐食進行。海中部2/4面に合金層残存、 1/4,3/4,4/4面に腐食進行。めっき層のスケールは10μm。



ロープ:回収時のロープの海上部に白色の水酸化亜鉛らしき付着物。 干満帯・海中部に貝類の付着物。 分解調査時のロープとストランドの心接部に黒い腐食痕。 【破断荷重:498.5kN(初期値:494.5kN)】

断 面∶海上部は3/4にめっき層残存、1/4、2/4、4/4面に腐食進行。 干満帯・海中部はほぼ全面で腐食進行。 めっき層のスケールは10μm。



ロープ:回収時のロープに貝類の付着物、白色の水酸化亜鉛らしき付着物。分解調査時のロープの表面とストランドの心接部に黒い腐食痕。 【破断荷重:504.0kN(初期値:494.5kN)】

断 面:海上部、干満帯、海中部のほぼ全面で腐食進行。めっき層のスケールは10µm。



断 面:海上部、干満帯、海中部のほぼ全面で腐食進行。

写真3.2.1_4 試料 [6×37 30 Zn200g/m²] 暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)



ロープ:回収時のロープ海上部・干満帯・海中部に白色の水酸化亜鉛らしき付着物。干満帯に赤錆。海中部は腐食部が黒く変色。分解調査時のロープとス トランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:530kN(初期値:532kN)]

断 面:海上部2/4、3/4面にめっき層が残存、1/4、4/4面は腐食進行。干満帯2/4、3/4面にめっき層残存、他の2面で腐食進行。海中部4/4面にめっきと合 金層残存、他の3面で合金層残存。



ロープ:回収時のロープの海上部に赤錆、干満帯・海中部に生物付着。分解調査時のロープ表面とストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:538kN(初期値:532kN)】

断 面:海上部1/4面に合金層、2/4、3/4面にめっき層残存、4/4面一部にめっき層残存。干満帯、海中部全面で腐食進行。

写真3.2.2_2 試料 [6×37 30 Zn135g/m²] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)



ロープ:回収時のロープ海上部に赤鏥。干満帯・海中部に生物(貝類)付着。分解調査時のロープ表面に錆と腐食痕。ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:535kN(初期値:532kN)】

断 面:海上部1/4面にめっき層残存、2/4、3/4面で腐食進行、4/4面に合金層残存。干満帯、海中部全面で腐食進行。



ロープ:回収時のロープの海上部で赤鏥。 干満帯・海中部で貝類の付着物。 分解調査時のロープに赤錆と腐食痕。 ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重: 500kN(初期値: 532kN)】

断 面:海上部、干満帯、海中部全面で腐食進行。めっき層のスケールは10µm。

写真3.2.2_4 試料 [6×37 30 Zn135g/m²] 暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)



ロープ:回収時のロープの海上部で赤鏥。 干満帯・海中部で生物付着。 分解調査時のロープ全面赤錆。 ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:509kN(初期値:520kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で腐食進行。めっき層のスケールは10µm。

写真3.2.3 1 試料 [6×37 30 めっきなし]暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)



ロープ:回収時のロープの海上部で赤縮。 干満帯・海中部で生物付着。 分解調査時の腐食生成物除去前のロープに全面赤縮。 ストランドの心接部に腐食 痕。 【破断荷重:465.5kN(初期値:520kN)】

断面:海上部·干満帯·海中部全面で腐食進行。めっき層のスケールは10µm。

写真3.2.3 2 試料 [6×37 30 めっきなし] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)



ロープ:回収時のロープ海上部で赤鏥。 干満帯・海中部で貝類の付着。 分解調査時の腐食生成物除去前のロープ表面は全面赤鏥。 ストランドの心接部に 腐食痕。 【破断荷重: 453.5kN(初期値: 520kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で著しい腐食進行。めっき層のスケールは10µm。

写真3.2.3 3 試料 [6×37 30 めっきなし]暴露期間 9ヶ月(設置:1/27、回収:10/3)



ロープ:回収時のロープ海上部で赤鏥。 干満帯・海中部で貝類の付着。 分解調査時の腐食生成物除去前のロープ表面全面に赤鏥。 ストランドの心接部に腐 食痕。 【破断荷重: 477kN(初期値: 520kN)]

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で著しい腐食進行。めっき層のスケールは10µm。



ロープ:回収時のロープ海上部と干満帯に水酸化亜鉛らしき付着物。干満帯で腐食生成物による変色。海中部に海藻類の付着。分解調査時のロープとロー プ心の黒ずんだ腐食痕。ワイヤロープ心(IWRC)の写真省略。 【破断荷重:736kN(初期値:737kN)]

断 面:海上部·干満帯·海中部全面に合金層残存。(写真不鮮明)。めっき層のスケールは25µm。



ロープ:回収時のロープ海上部で発錆。干満帯・海中部に貝類の付着。分解調査時のロープとロープ心の黒ずんだ腐食痕。ワイヤロープ心(IWRC)の写真 省略。 【破断荷重:734kN(初期値:737kN)]

断 面:海上部1/4、4/4面にめっき層残存、2/4,3/4に合金層残存。干満帯2/4,海中部全面に合金層残存。(写真不鮮明)。めっき層のスケールは25µm。

ロープ:回収時のロープ海上部で発錆。干満帯・海中部に貝類に付着。分解調査時のロープとロープ心の黒ずんだ腐食痕。ワイヤロープ心(IWRC)の写真 省略。 【破断荷重:707kN(初期値:737kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部3/4面にめっき層残存、他の3面で腐食進行。(写真不鮮明)。めっき層のスケールは25μm。

ロープ:回収時のロープ海上部に発錆。干満帯・海中部に貝類付着。分解時のロープとロープ心の黒ずんだ腐食痕。ワイヤロープ心(IWRC)の写真省略。 【破断荷重:724kN(初期値:737kN)】

断 面: 海上部1/4,3/4面にめっき層残存、2/4,4/4面に一部合金層残存。干満帯3/4にめっき層残存、4/4面に合金層残存。2/4面に腐食。 海中部3/4面に合 金層残存、他の3面に腐食進行。(写真不鮮明)。 めっき層のスケールは25 μm。

ロープ:回収時のロープ海上部·干満帯に水酸化亜鉛付着。海中部に海藻類付着。分解時のロープ表面とストランドの心接部に黒い腐食痕。 【破断荷重:145kN(初期値:145kN)】

断 面:海上部1/4、3/4、4/4面にめっき層残存。 干満帯1/4、3/4、4/4面にめっき層残存。 海中部4/4面にめっき層残存。 めっき層のスケールは25µm。

ロープ:回収時のロープ海上部に水酸化亜鉛の付着。干満帯に黒い腐食痕。海中部に生物付着。分解時のロープの表面とストランドの心接部に黒い腐食痕。 【破断荷重:145kN(初期値:145kN)】

断 面:海上部で全面にめっき層・合金層残存。干満帯全面で合金層の溶出後。海中部4/4面にめっき層残存、1/4,2/4,3/4面で合金層溶出後。 (写真不鮮明)。めっき層のスケールは25µm。

写真3.2.5_2 試料 [6×37 16 Zn70g/m²] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)

ロープ:回収時のロープ海上部に水酸化亜鉛付着。干満帯・海中部に貝類付着。分解時のロープ表面とストランドの心接部に黒い腐食痕。 【破断荷重:146kN(初期値:145kN)】

断 面:海上部2/4,4/4面にめき層・合金層残存、1/4,3/4面に合金層残存。干満帯全面に合金層残存。海中部2/4,4/4面にめっき層・合金層残存、1/4,3/4面 にめっき層・合金層残存なし。(写真不鮮明)。めっき層のスケールは25µm。

写真3.2.5_3 試料 [6×37 16 Zn70g/m²] 暴露期間 9ヶ月(設置:1/27、回収:10/3)

部に黒い腐食痕あり。 【破断荷重:142kN(初期值:145kN)】

付着あり。干満帯・海中部に海藻類の付着あり。分解検査時のロープの表面とストランドの心接

断 面:海上部で1/4面にめっき層の残存あり、2/4,3/4,4/4面に合金層の残存あり。 干満帯で2/4,3/4,4/4面に合金層の残存あり、1/4面に合金層溶出後。 海 中部で3/4,4/4面に合金層の残存あり、1/4,2/4面に合金層の溶出後、2/4面に腐食の進行あり。めっき層のスケールは25μm。

ロープ:回収時のロープ海上部・干満帯に黄土色の生成物付着。海中部に海藻類付着。分解時のロープ表面とストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:131.8kN(初期値:138.7kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部の全面にめっき層残存。

写真3.2.6 1 試料 [6×37 16 Al40g/m²] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)

ローフ:回収時のローフ海上部に黄土色の生成物付着。 十満帯・海中部に海藻類・貝類付着。 分解時のローフの表面とストランドの心接部に腐食源 【破断荷重 : 140.1kN(初期値 : 138.7kN)】

断 面:海上部全面にめっき層残存。干満帯のめっき層の孔食状溶出、海中部の各面にめっき残存、腐食進行。

写真3.2.6_2 試料 [6×37 16 Al40g/m²] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)

ロープ:回収時のロープ海上部は腐食生成物付着。 干満帯 海中部は貝類付着。 分解時のロープ表面とストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:140.4kN(初期値:138.7kN)】

断 面:海上部・干満帯・海中部全面にめっき層の残存あり。

写真3.2.6_3 試料 [6×37 16 Al40g/m²] 暴露期間 9ヶ月(設置:1/27、回収:10/3)

ロープ:回収時のロープの海上部に酸化物付着。干満帯・海中部に貝類付着。分解調査時のロープ表面とストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:138.7kN(初期値:138.7kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部にめっき層残存、腐食。(写真不鮮明)。

写真3.2.6 4 試料 [6×37 16 AI 40g/m²] 暴露期間 11ヶ月(設置: 1/27、回収: 12/17)

ロープ:回収時のロープの海上部で赤錆発錆。干満帯・海中部に生物付着。分解調査時のロープとストランドに発錆、ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:150kN(初期値:157kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で腐食。めっきのスケールは10µm。

写真3.2.7_1 試料 [6×37 16 めっきなし] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)

ロープ:回収時のロープの海上部で赤錆の発錆。干満帯・海中部に生物付着。分解調査時のロープ表面とストランドに発錆、ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:126kN(初期値:157kN)】

断 面:海上部·干満帯・海中部全面で著しい腐食。めっきのスケールは10µm。

写真3.2.7_2 試料 [6×37 16 めっきなし]暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)

ロープ:回収時のロープの海上部で赤錆の発錆。干満帯・海中部に貝類付着。分解調査時のロープとストランドに発錆、ストランドの心接部に腐食痕。 【破断荷重:128kN(初期値:157kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で著しい腐食。めっきのスケールは10µm。

写真3.2.7 3 試料 [6×37 16 Bright] 暴露期間 9ヶ月(設置:1/27、回収:10/3)

ロープ:回収時のロープの海上部で赤錆発錆。干満帯・海中部に貝類付着。分解調査時のロープとストランドに発錆、著しい腐食。ストランドの心接部に腐 食痕。 【破断荷重: 106kN(初期値:157kN)】

断 面:海上部·干満帯·海中部全面で著しい腐食。めっきのスケールは10µm。

写真3.2.7_4 試料 [6×37 16 Bright]暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)

ロープ:回収時のロープの海上部·干満帯に水酸化亜鉛らしき生成物付着。干満帯に黒い腐食痕、海中部に海藻類付着。分解調査時のロープの黒い部分 は合金層と見られる。干満帯·海中部では 2、1についても同様。 【破断荷重:268kN(初期値:271kN)]

断 面:海上部4/4面の一部にめっき層残存、1/4,2/4,3/4に合金層残存。干満帯全面に合金層残存。海中部1/4面にめっき層残存。2/4,3/4,4/4面に合金層 の残存。めっきのスケールは10μm。

写真3.2.8_1 試料 [1×37 16 Zn210g/m²] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)

断 面:海上部2/4,3/4面にめっき層残存、1/4,2/4,3/4に合金層残存。干満帯3/4面にめっき層残存、2/4,4/4面の一部にめっき層残存、1/4面に合金層残存。 海中部3/4,4/4面にめっき層残存、1/4,2/4面に合金層残存。めっきのスケールは10µm。


ロープ:回収時のロープの海上部に赤錆発錆。干満帯・海中部に水酸化亜鉛らしき生成物付着と貝類の付着。分解調査時のロープに腐食痕、干満帯・海 中部で2、1に腐食痕。【破断荷重:272kN(初期値:271kN)]

断 面:海上部1/4,2/4,4/4面に一部に合金層残存、3/4面で腐食。干満帯1/4,2/4,3/4面の一部に合金層残存、4/4面合金層の溶出後。海中部1/4,3/4,4/4 面に合金層残存、2/4面で合金層の溶出後。めっきのスケールは10µm。



ロープ:回収時のロープの海上部に赤錆発錆。干満帯·海中部に海藻類付着。分解調査時のロープに腐食痕、 2、 1についても同様。 【破断荷重:273kN(初期値:271kN)】

断 面:海上部2/4,3/4面に合金層残存、1/4,4/4に腐食。干満帯2/4面に合金層残存、1/4,3/4面合金層の溶出後,4/4面に腐食。海中部全面で合金層の溶 出後。めっきのスケールは10μm。

写真3.2.8 4 試料 [1×37 16 Zn210g/m²]暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)



鋼線の表面:海上部·干満帯·海中部で表面に変色。 【引張強さ:海上部1333N/m m², 海中部1401N/m m²(初期値:1411N /m m²)】 断面:海上部1/4,2/4,3/4面にめっき層残存、4/4面で合金層残存。干満帯·海中部でめっき層が溶出後。

写真3.2.9_1 試料 [2 Zn 200g/m²] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)



鋼線の表面 : 海上部で表面に変色。 干満帯 · 海中部で腐食痕。【引張強さ : 海上部1343N/m m² · 、海中部1362N/m m² (初期値 : 1411N /m m²)】 断面 : 海上部1/4面にめっき層残存、2/4,3/4,4/4面で合金層残存。 干満帯2/4,4/4面で合金層残存、1/4,3/4面で合金層溶出後。 海中部で合金層溶出後。

写真3.2.9_2 試料 [2 Zn 200g/m²] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)



鋼線の表面:海上部·干満帯·海中部で腐食。 【引張強さ:海上部1313N/m m²、海中部1352N/m m²(初期値:1411N /m m²)】 断面:海上部1/4面にめっき層残存、1/4,3/4,4/4面に合金層残存。干満帯·海上部全面で合金層溶出後。

写真3.2.9 4 試料 [2 Zn 200g/m²] 暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)

海 上 部 満 帯 部 Ŧ 海 中 鋼線の表面 鋼線の表面 鋼線の表面 X511 2n 3000 2 01 3M R MR12 3 1H OND O IT ON D MOIS O EM 112 S-TABLER S-TABLES - SHELTCARE S-LARSENERS A PROPERTY AND A PROP 鋼線の表面:海上部・干満帯・海中部で表面変色、発錆あり。 断面:海上部・干満帯・海中部で全面にめっき層残存。 Zn・AI 500g/m²] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24) 写真3.2.10_1 試料 [2] 鋼線の表面 鋼線の表面 鋼線の表面 RECEIPTING STREETWORKS TRUEBLES A DestRe-Discourse and A Address of the Academy of the State S-Incide (VA-) DA

鋼線の表面:海上部·干満帯·海中部で表面変色、腐食痕。 【引張強さ:海上部1058N/m m²·、海中部1058N/m m²(初期値:1107N /m m²)】 断面:海上部1/4,3/4面にめっき層残存、2/4,4/4面合金層の溶出後。干満帯全面にめき層残存。海中部2/4,4/4面にめっき層残存、1/4,4/4に面合金層の 溶出後。

写真3.2.10 2 試料 [2 Zn・Al 500g/m²]暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:8/5)



鋼線の表面 : 海上部 · 干満帯 · 海中部で変色、腐食痕。 【引張強さ:海上部1039N/m m² · 、海中部1058N/m m² (初期値 : 1107N /m m²)】 断面 : 海上部 · 干満帯 · 海中部全面にめっき層残存。

写真3.2.10.4 試料 [2 Zn・AI 500g/m²]暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)



鋼線の表面 : 海上部 · 干満帯でめっき層が溶出、発錆。 海中部で腐食進行。 【引張強さ: 海上部1049N/m m²、 海中部1098N/m m² (初期値 : 1098N /m m²)】

断面:海上部全面にめっき層の残存。干満帯・海中部でめっき層が一部溶出後。

写真3.2.11_1 試料 [2 Zn 700g/m²] 暴露期間 3ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)



鋼線の表面:海上部やや変色。干満帯で発錆。海中部で腐食の進行。【引張強さ:海上部1009N/m m²,海中部1117N/m m²(初期値:1098N /m m²)】 断面:海上部1/4,3/4面にめっき層残存、2/4,4/4面めっき層溶出後。干満帯2/4,4/4面にめっき層残存、1/4,3/4面めっき層溶出直後。海中部全面でめっき 層が溶出後。

写真3.2.11_2 試料 [2 Zn 700g/m²] 暴露期間 6ヶ月(設置:1/27、回収:4/24)



鋼線の表面 : 海上部・干満帯・海中部で発錆。 【引張強さ: 海上部1088N/m m², 海中部1078N/m m²(初期値:1098N /m m²)】 断面 : 海上部全面にめっき層残存。 干満帯・海中部全面でめっき層の溶出後。 腐食進行。

写真3.2.11_3 試料 [2 Zn 700g/m²] 暴露期間 9ヶ月(設置:1/27、回収:10/3)



鋼線の表面 : 海上部で変色。 干満帯 · 海中部で腐食の進行。 【引張強さ : 海上部1019N/m m² · 、海中部1098N/m m² (初期値 : 902N /m m²)】 断面 : 海上部全面でめっき層残存。 干満帯 · 海中部全面でめっき層の溶出後、 2/4,4/4面で腐食進行。

写真3.2.11_4 試料 [2 Zn 700g/m²] 暴露期間 11ヶ月(設置:1/27、回収:12/17)