

# 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した構造部材適用可能性研究 －フェーズⅢの研究成果－

米丸 啓介  
(技術研究所)

## Testing the applicability of new materials to marine structures in tropical climates - Results of phase III -

by Keisuke Yonemaru

### Abstract

A study comprising a series of exposure tests has been carried out on Okino-tori-shima since 1993. The tests are designed to verify the durability of new materials, clarify their applicability to marine structural components in severely corrosive environments, such as offshore oil productive facilities in the tropics, and reduce life cycle costs. Phase III of this study has been underway since 2006. An exposure test that considers the actual conditions of marine structures was conducted in order to acquire useful data for developing more durable structural components. Valuable results, such as corrosion in the splash zone and real exposure data of durable metal materials, were obtained.

### 概要

沖ノ鳥島での暴露実験を主体とした実験的研究を2010年度までの18年間継続してきた。熱帯の海洋石油生産施設など厳しい腐食環境下に置かれる海洋構造物のライフサイクルコストを低減させるため、高耐久な新素材の耐久性を検証し、それらの構造部材への適用可能性を明らかにしようとする研究である。2006年からの5年間実施された最終のフェーズⅢでは、構造部材の耐久設計に有用なデータの取得を目的として、海洋構造物の実態を考慮した暴露試験方法を考案し実施した。結果として、飛沫帯における腐食量の実データや高耐久金属材料の実暴露データなど、貴重な成果が得られた。

### § 1. はじめに

本研究は、財団法人エンジニアリング振興協会が経済産業省より委託を受けた「海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した構造部材適用可能性研究(平成18年度から22年度)」について実施されたものである。

最近の海洋石油未開発地域は、東南アジアなどの熱帯地域に移行しており、この海域で石油開発などに用いられるこれからの海洋構造物は、熱帯の海洋環境という過酷な腐食環境条件下での使用に耐え得るものでなくてはならなくなって来ている。

近年、高強度、軽量、高耐久性という性質を併せ持った新素材が種々開発され、それらは航空機、自動車、鉄道、機械、建設などの分野で利用されつつある。その採用の理由は、軽量によるランニングコストや建設コストの低減、高耐久性によるメンテナンスコストの低減によって、例えばイニシャルコストは高くても、ランニング

コストを圧縮するという観点からみればライフサイクルコストは低くなるという理由からである。また、地球環境の観点からも、軽量化による省エネルギーと構造物の長寿命化は意義が大きい。

以上のような状況から、過酷な条件下で利用される海洋構造物に対しても、軽量で耐久性(耐腐食性)に優れた新しい材料の採用が期待される。新素材を海洋構造物に適用する場合、①法的・技術的規制のクリアー、②構造性能保証のための設計・施工基準の確立、③新しい材料の強度、耐久性に関するデータの蓄積などが必要となる。これらの項目の①や②、③のうちの材料強度を保証することなどは、民間(メーカ)の責任において実施すべきであると考えられるので、本研究では国家プロジェクトとして相応しい「同じ土俵に立っての新素材の耐久性(耐腐食性)評価」ということには絞って、適切な委員会を組織・運営して試験を実施することとした<sup>1)~25)</sup>。

一連の本研究プロジェクトは1993年から18年間実施され、清水建設は試験グループとして主導的な立場で新素材の暴露実験を計画し実施した。全体は3つのフェー

ズに分かれており、本報の内容は最終 5 年間(2006 年度から 2010 年度)に実施されたフェーズⅢ<sup>14)~18),25)</sup>で得られた成果である。

## § 2. 研究プロジェクトの全体概要

本研究プロジェクトは暴露実験を中心とした実験的研究であり、各種材料の耐久性に関するデータや知見を取得し、整備することが目的である。海洋石油未開発地域と同じ熱帯の海洋環境として、沖ノ鳥島にある作業基地をひとつの暴露実験場として利用した。沖ノ鳥島は我が国で唯一熱帯に属する島で、東京から 1740km 離れた太平洋上に位置し、東京都小笠原村に属する(図-1、写真-1)。ここでの研究活動は日本の排他的経済水域(EEZ)確保のための経済活動という側面ももちあわせている。

1993 年度から 1997 年度まで行われたフェーズⅠでは、連続繊維補強コンクリート部材を対象とした暴露実験を行い耐久性の評価を行った(写真-2)。連続繊維補強筋は



図-1 沖ノ鳥島の位置



写真-1 沖ノ鳥島の遠景

鉄筋代替の繊維強化プラスチックによる補強筋であり錆びないことを特徴とする。また、コンクリートには軽量骨材を用い、浮体構造が中心になるとされる海洋構造物への適応を想定した<sup>17)~19)</sup>。

1997 年度から 2005 年度まで行われたフェーズⅡでは、金属材料、繊維強化プラスチック材料、ロープなど 22 種の材料を対象とした暴露実験を行った(写真-3)。高耐久な材料を中心に選定しており、5 年間沖ノ鳥島や宮古島に暴露しても構造性能が低下するものは少なかった。最終的にはそれぞれの腐食や劣化の状況からこれらの材料を



写真-2 フェーズⅠの暴露状況  
(沖ノ鳥島作業基地上)



写真-3 フェーズⅡの暴露状況  
(沖ノ鳥島作業基地上)



写真-4 フェーズⅢの暴露状況  
(沖ノ鳥島作業基地上)

5つの耐久カテゴリに分類して整理した<sup>6)~13),20)~24)</sup>。

2006年度から2010年度まで実施された最終のフェーズⅢでは、フェーズⅡの結果をもとに実用性を考慮した材料を選定し、それらをより海洋構造物の実態に近い方法で暴露した(写真-4)。これらの材料を用いて耐久設計を行う際のより有用な具体的基礎データを蓄積することがフェーズⅢの狙いである<sup>14)~18),25)</sup>。

### § 3. フェーズⅢの研究内容と成果

#### 3.1 全体計画

海洋構造物の実態に近い暴露方法として耐久強度暴露実験と飛沫帯暴露実験を計画した。フェーズⅢの全体スケジュールを表-1に示す。

耐久強度暴露実験では、自重を支持するなど力を負担した状態の構造部材を考慮して、試験片に引張軸力を導入した状態で暴露実験を行った。フェーズⅡでは5年間の暴露実験において構造性能の低下がみられた材料が少なかった。フェーズⅢの暴露期間は3年であるので、短期間での成果を期待して、高めの荷重(短期許容応力度相当)や応力集中箇所など一般的な状態よりも厳しい条件も設定した。

飛沫帯暴露実験は、長尺の試験体を部分的に海水に水没させて行う暴露実験で、最も激しく腐食と言われていた海面付近の腐食データを取得するために実施した。海洋環境における腐食の形態は、海面との位置関係により異なり、洋上部、飛沫部、干満部、海水中部の4つに大別され、そのうち飛沫部の腐食が最も激しいとされている<sup>26)</sup>。具体的な腐食量が示されることはあるが、実際のデータが少なく、特定の文献<sup>27)</sup>が根拠とされている場合が多い。また、研究プロジェクト内で実施したメンバー各社の海洋開発実務担当者へのヒアリング結果<sup>15)</sup>では、熱帯域での耐久性に関する実データの重要性が指摘された。このような経緯から、飛沫帯暴露実験を実施した。

表-1 フェーズⅢの暴露実験スケジュール

年度		2006	2007	2008	2009	2010
耐久強度暴露実験	沖ノ鳥島	1年暴露		■		
		2年暴露		■	■	
	宮古島	2年暴露		■	■	
		3年暴露		■	■	■
飛沫帯暴露実験	沖ノ鳥島	1年暴露			■	
		3ヶ月			■	
	西表島	8ヶ月			■	
		17ヶ月			■	■

フェーズⅡの最後に、一部の試験体を継続して暴露した。本研究プロジェクトが終了するにあたり、これら試験体も回収して観察や耐久性確認実験を実施したので、本報で合わせて報告する。これらの最終的な暴露期間は、沖ノ鳥島が8年、宮古島が11年である。

#### 3.2 暴露場所の腐食・劣化環境

耐久強度実験とフェーズⅡからの継続暴露実験は、沖ノ鳥島の作業基地(Self Elevation Platform、写真-5、以下 SEP)上と日本ウエザリングテストセンター(以下 JWTC)宮古島試験場の海岸暴露場(以下、宮古海岸)の2箇所で実施した。飛沫帯暴露実験は沖ノ鳥島 SEP 脚部の海中部分と西表島にある東海大学沖縄地域研究センター網取施設(以下、網取)で実施した。暴露場所の位置関係を図-2に示す。各暴露場所の腐食・劣化環境を比較するために、金属材料とプラスチック材料の基準指標として、それぞれ JIS Z2383 に基づく腐食量の測定(SM400B 材)と独自のポリカーボネイト板の黄変度合いを利用した紫外線量の推定を実施した<sup>18)</sup>。



写真-5 沖ノ鳥島の作業基地(SEP)

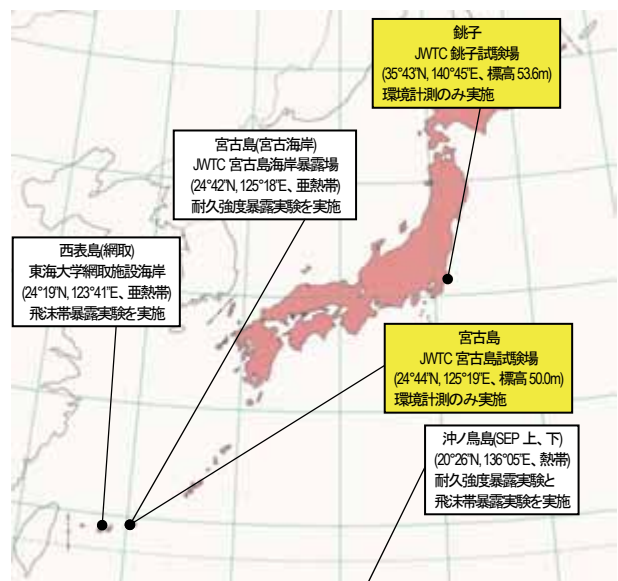


図-2 暴露場所の位置関係



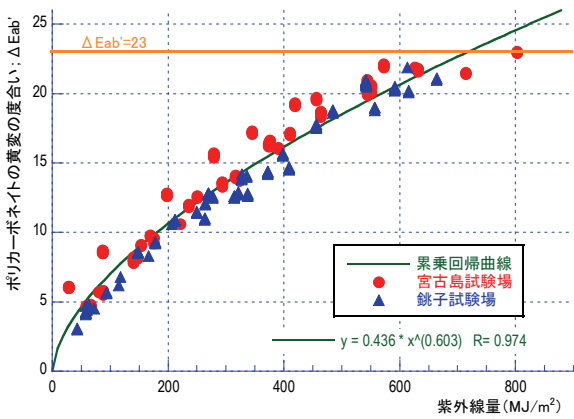


図-3 ポリカーボネイト板の黄変度合いと紫外線量の関係

表-2 各暴露場所の腐食・劣化性

	沖鳥島 SEP上	宮古 海岸	西表 網取	宮古 島 試験場	銚子 試験場	清水 建設 技研
腐食度 (g/m <sup>2</sup> ・year)	555	6887	1624	404	234	157
沖ノ鳥島を <i>i</i>	1.00	12.41	2.93	0.73	0.42	0.28
紫外線量 (MJ/m <sup>2</sup> ・year)	637	431	—	385	254	300
沖ノ鳥島を <i>i</i>	1.00	0.68	—	0.60	0.40	0.47
緯度	20 26'	24 42'	24 19'	24 44'	35 43'	35 40'
海との距離	0m	8m	約10m	2km	4km	約3km
海拔	15.5m	4m	約5m	50.0 m	53.6m	約20m
平均温度(°C)	28	25.1	—	24.4	14.9	—
平均湿度(%RH)	73.2	75.1	—	76.3	76.6	—

なおポリカーボネイト板を用いた観測は、機器による紫外線量(UV-A)観測が行われている JWTC の宮古島試験場と銚子試験場でも実施し、図-3に示すような紫外線量と黄変度合いの関係が得られた。その他の暴露場所の紫外線量はこの関係より推定した。各暴露場所の腐食・劣化性を表-2にまとめる。最も厳しい腐食環境にあるのは、荒天時には波しぶきを直接かぶる宮古島の海岸暴露場で、海面から15.5m上方に位置するSEP上で暴露している沖ノ鳥島の12.41倍の腐食度であった。紫外線量については、最も緯度の低い沖ノ鳥島が最も多い結果となった。

### 3.3 耐久強度暴露実験

暴露に供した材料は、フェーズIIの結果をもとに5つの耐久カテゴリから1つずつ選定した次の5種類である。それぞれの特徴を概説する。

- ① アルミニウム合金(#5083)：マグネシウム系のアルミニウム合金。耐食性に優れており船舶や車両の溶接構造材料として利用されている。
- ② ステンレス鋼(SUS329J4L)：二相オーステナイト系ステンレス鋼。強度が高いので軽量化が図れる。
- ③ 9%Ni鋼：低温圧力容器用の材料で低温靱性が優れている。Niの含有量が多く、優れた耐食性を示す。
- ④ 普通鋼(SM490A)：溶接構造用圧延鋼材。フェーズII以降、基準材料として利用している。

- ⑤ CFRP(炭素繊維強化複合材料)：PAN系炭素繊維とフェノール樹脂の組合せ。試験片長手方向のみに繊維を配した引抜き成形による1方向強化材

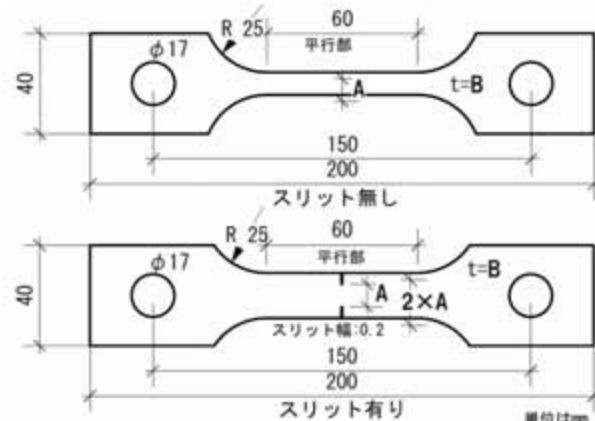
材料以外のパラメータを表-3に整理する。試験片に導入する引張軸力は、長期と短期2種類の許容応力度相当とした(CFRPは長期のみ)。各材料の試験片耐力と導入軸力値を表-4にまとめる。同一条件の試験片をそれぞれ3体ずつ計画した。試験片の形状は、金属が5号試験片(JIS Z2201)形状で、軸力有りのものはタブ部に暴露中の軸力を支持するための孔を明けた形状、CFRPが幅50mmの短冊状の試験片で、軸力有りのものは両端にタブを接着しこれに孔を明けた形状である。応力集中部は試験区間中央部分にスリットを設けて設定した(金属材料のみ)。試験片形状を図-4と図-5に示す。なお、CFRPはこの試験片からI型試験片(JIS

表-3 耐久強度暴露実験のパラメータ

項目	種類・水準	備考
試験片への導入軸力(引張力3水準)	・軸力無し ・低軸力 ・高軸力	低軸力:長期許容応力度相当 高軸力:短期許容応力度相当 表5参照。*CFRPは低軸力のみ
暴露場所(2箇所)	・沖ノ鳥島(SEP上) ・宮古島(海岸暴露場)	詳細は3.2節参照 暴露角はいずれも南面20度
応力集中部(2水準)	・スリット無し ・スリット有り	"スリット有り"は宮古島にのみ設定
暴露期間(3水準+促進試験)	・1年(沖ノ鳥島) ・3年(宮古島) ・2年(沖ノ鳥島、宮古島) ・促進耐候性試験(CFRP)	沖ノ鳥島での暴露実験は計画変更有り

表-4 各材料の体力と導入軸力値

	アルミニウム合金		ステンレス鋼		9%Ni鋼		普通鋼		CFRP
	無	有	無	有	無	有	無	有	無
耐力(kN)	58.6	48.4	47.3	53.7	45.6	58.8	51.0	59.8	(99.4)
低軸力(kN)	16.4	16.4	18.3	18.3	19.3	11.8	17.8	13.2	20.0
[1/耐力]	0.28	0.34	0.39	0.34	0.42	0.20	0.35	0.22	0.20
高軸力(kN)	21.8	21.8	30.0	30.0	30.0	29.7	30.0	28.0	-
[1/耐力]	0.37	0.45	0.63	0.56	0.66	0.51	0.59	0.47	-



寸法(mm)	アルミニウム合金		ステンレス鋼		9%Ni鋼		普通鋼	
	A	B	A	B	A	B	A	B
	18.0	10.0	11.0	5.0	9.0	6.0	15.0	6.0

図-4 金属材料の試験片(軸力有り)

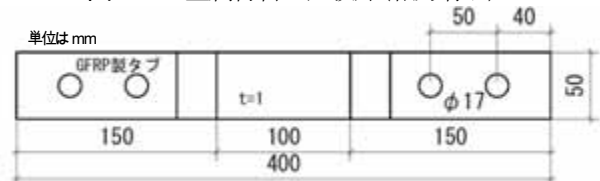


図-5 CFRP 試験片(軸力有り)



写真-6 軸力有り試験片の暴露状況 3年目  
(ステンレス鋼、高軸力、宮古海岸、スリット有り、3年)

K7073)3枚を切り出し引張試験に供した。軸力を導入した試験片は写真-6に示すような、板バネで反力を支持する装置に組み込んで暴露した。

耐久強度暴露実験ではそれぞれの暴露場所で所定の期間暴露した後の軸力(軸力を導入したもの)と引張強度を測定し、初期の値と比較して各材料の構造材料としての劣化性状を検証した。

軸力を導入した試験片に関して、普通鋼を除く金属材料では、所定の暴露期間終了後に軸力の低下がみられなかった。普通鋼の軸力の経年変化を軸力保持率(=暴露後の軸力/軸力初期値)で図-6に示す。宮古海岸

の普通鋼は3年目までに軸力を導入した全てが暴露中に破断した。また、それまでの過程においても軸力の低下が観察されており、これは表層からの腐食により健全断面部が徐々に減少したことが原因であると考えられる。CFRPについては、暴露1年目で10%ほど軸力が低下しているが、その後は横ばいである(図-7)。試験片各所の材料の馴染みなどが原因として考えられるが、2年目以降の傾向を考慮すると、急激な破壊を起こすような応力度域には達していないと思われる。

引張破壊強度については、アルミニウム合金とステンレス鋼において全く強度低下の傾向が見られなかった。9%Ni鋼においては、2年目で暴露条件に依存しない2~3%程度の強度低下が見られたが、表面を保護している安定錆の生成による健全断面の減少と考えられる。軸力を導入した試験片では明確な軸力低下が確認できず、2年目以降は引張強度が横ばい状態であることから、安定した状態にある。普通鋼の引張強度保持率(=暴露後の引張強度/引張強度初期値)は、同じ暴露期間の軸力保持率より低い。宮古島では、暴露2年目以降に軸力を導入した試験体が破断しはじめ、暴露3年目に回収できたのは軸力を導入していない試験片のみであった。図-8に引張強度の経年変化を保持率で示す。破断が確認された時期を2年目以降の部分に反映させた。グラフ凡例のN、H、Lはそれぞれ導入軸

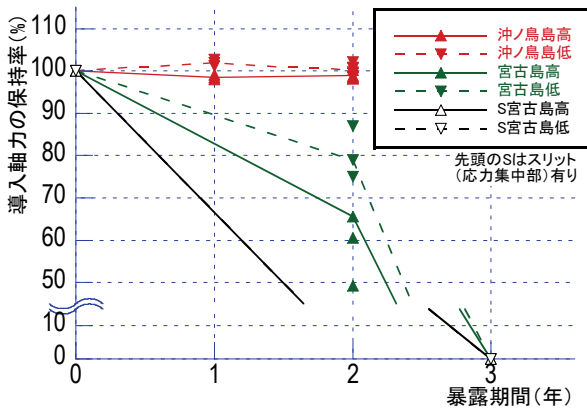


図-6 軸力の経年変化(普通鋼、軸力有り)

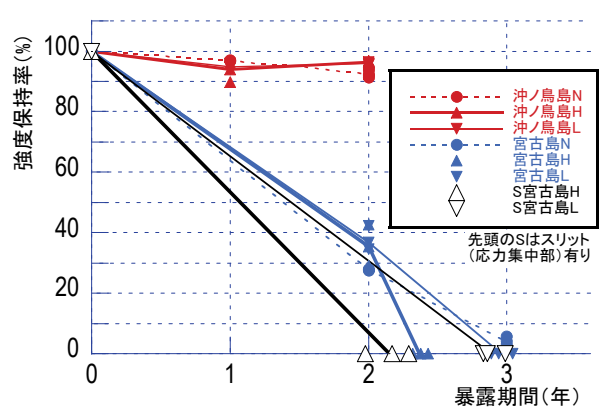


図-8 引張強度の経年変化(普通鋼)

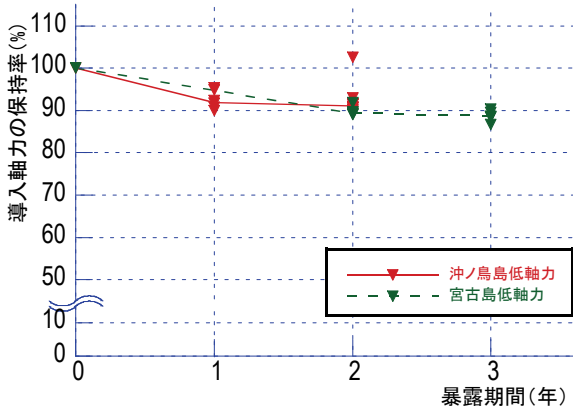


図-7 軸力の経年変化(CFRP、軸力有り)

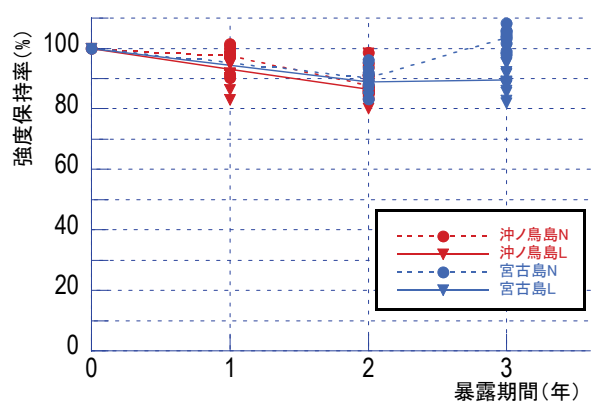


図-9 引張強度の経年変化(CFRP)

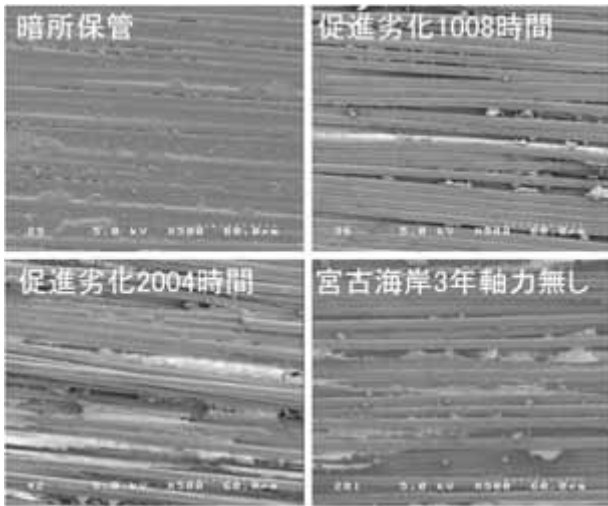


写真-7 CFRP 表面のSEM 像

力無し、高軸力、低軸力を表す。破断の順序は、「スリット(=応力集中部)有の高軸力→スリット無の高軸力→スリット有の低軸力→スリット無の低軸力」であり、同じ軸力を負荷させた条件においては、応力集中部を有する試験片の方が構造的な耐久性が低いことがわかる。暴露3年後の普通鋼軸力無し試験片の強度保持率は4.4%であった。CFRP については、平均的には約10%の強度低下となるが、ばらつきが大きい(図-9)。暴露1年目以降横ばい状態で安定しており、劣化が進行していると明確には言えない。

CFRP に関しては、さらに、メタルハライドランプ

を光源とする超促進耐候性試験機(SUV-151, 岩崎電気)を用いて促進劣化を行い、耐久強度暴露実験の試験片と比較した。試験条件は次に示すとおりで、試験時間は最大2004時間である。

試験条件：紫外線照射6時間/結露6時間サイクル  
 紫外線照度：100mW/cm<sup>2</sup>  
 照射時BP温度：63℃  
 照射時湿度：50%

※試験機メーカーの技術資料ではポリカーボネイトに対して88倍(試験100時間≒実暴露1年)の促進倍率とされる条件

促進劣化後のCFRPの引張強度に関しては、2004時間試験に供した試験片においても低下がみられなかった。試験片表面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察したところ、宮古島で3年暴露した軸力を導入していない試験片の表面状況は、促進劣化1008時間の試験片に近い状況であった。SEM像を比較して写真-7に示す。

### 3.4 飛沫帯暴露実験

暴露実験に供した材料は、普通鋼(SM490A)、9%Ni鋼、耐候性鋼(SMA490A)の3種類である。耐候性鋼は飛沫塩分の多い地域では、表面に防食作用のある安定錆が形成されにくく防食効果が得にくいいため、使用が制限されているが敢えて実験に供した。沖ノ鳥島ではSEP脚部に試験体を固定する着底式の飛沫帯暴露実験を行った。網取では、海岸浅瀬に設置した固定式の暴



写真-8 飛沫帯暴露実験(網取、浮体式)



写真-9 飛沫帯暴露実験(沖ノ鳥島、着底式)



写真-10 飛沫帯暴露実験(網取、着底式)

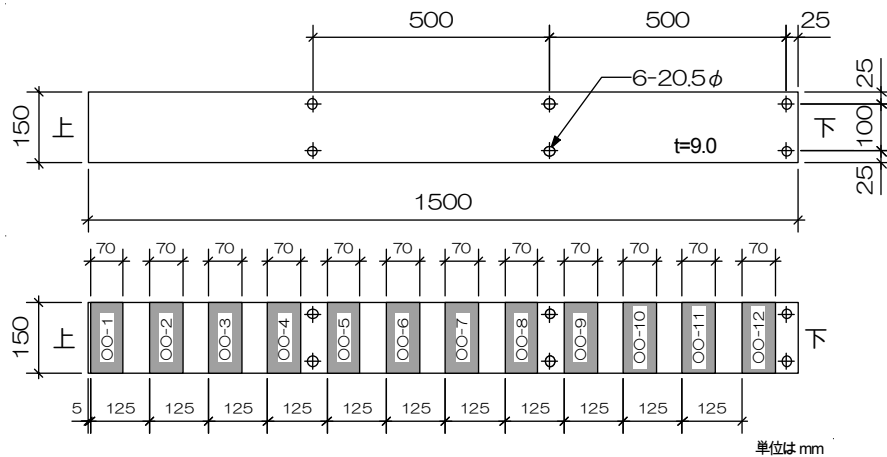


図-10 飛沫帯暴露実験の試験体(下図は試験片の切り分け図)



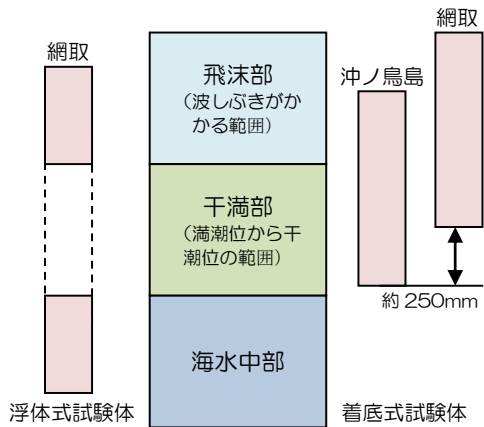


図-11 暴露試験体の海面との位置関係

露装置に試験体を固定する着底式と、浮体装置に試験体を固定する浮体式の飛沫帯暴露実験を行った。暴露状況を写真-8～写真-10に示す。

試験体形状を図-10に示す。各暴露場所では、この長尺試験体を立てた状態で固定した。所定の期間暴露した後回収し、高さ方向に12枚の試験片を切り出し各々の腐食量を求めた。なお、試験片の初期重量は暴露前試験体の平均厚みと素材の比重から推定した値を用いた。それぞれの暴露方式の試験体の下端に水圧計を設置し、海面水位を連続的に測定したところ、着底式の試験体では、沖ノ鳥島のほうが平均的な海面水位が約250mm高かった。各場所の暴露試験体の海面との位置関係を図-11に示す。各飛沫帯暴露実験において取得した腐食度(1年間腐食量)のデータを図-12～図-14に示す。着底式の試験体において9%Ni鋼の曲線が網取と沖ノ鳥島で大きく異なって見えるが、それ

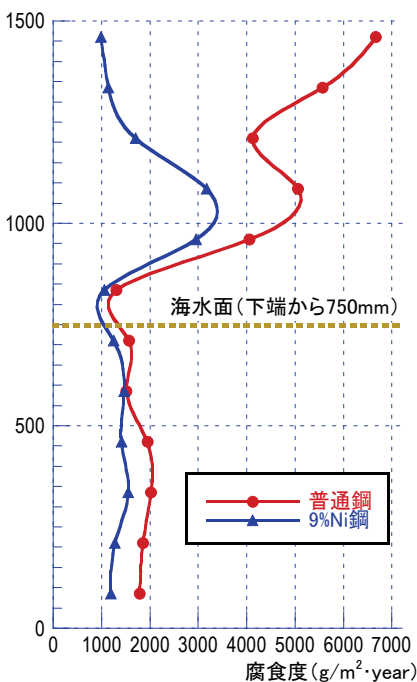


図-12 長尺試験体の腐食度 (網取、浮体式)

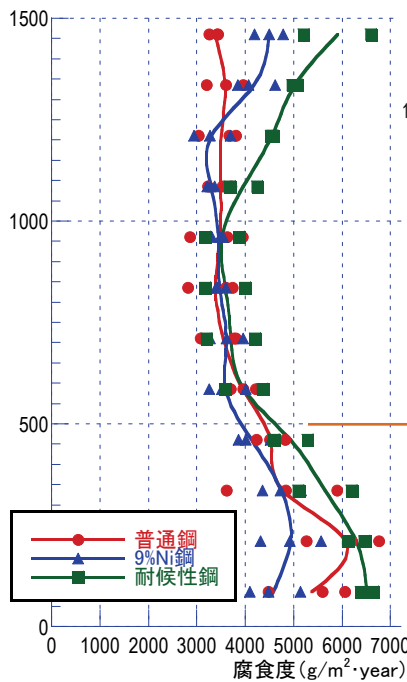


図-13 長尺試験体の腐食度 (沖ノ鳥島、着底式)

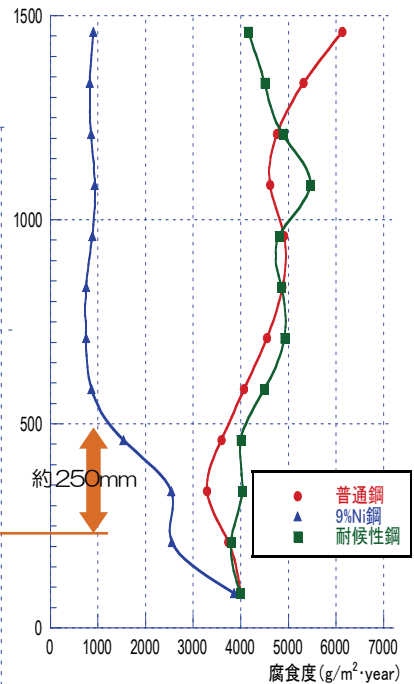


図-14 長尺試験体の腐食度 (網取、着底式)

ぞれ湾内と洋上という立地の違いによるものと思われる。腐食度のデータはかなりばらついて分布しているが、普通鋼の腐食度を大まかに整理すると、飛沫部から干満部にかけて  $3000 \sim 7000 \text{g/m}^2 \cdot \text{year}$ 、海中部は  $1000 \sim 2000 \text{g/m}^2 \cdot \text{year}$  程度となる。飛沫部の上限の腐食度  $7000 \text{g/m}^2 \cdot \text{year}$  を腐食速度(1年間で腐食により表面から失われる金属の平均的な厚さ)にすると、 $0.89 \text{mm/year}$  となる。腐食防食ハンドブック<sup>26)</sup>に示される同様の長尺試験体による飛沫部腐食速度の数値は  $0.33 \text{mm/year}$  であるので、本実験で得られたデータはこれの2.7倍である。普通鋼以外の高耐久材料の耐食性については、次のようであった。9%Ni鋼は飛沫部で波の影響を強く受けない部分については、普通鋼に比べて良好な耐食性が見られた。耐候性鋼については、実験を行った範囲内では普通鋼との明確な違いが見られなかった。

### 3.5 フェーズIIからの継続暴露実験

フェーズIIの溶接継手試験体のうち、表-5に示す7種類の金属材料を継続して暴露実験に供した。暴露場所は沖ノ鳥島SEP上と宮古海岸である。宮古海岸での暴露状況を写真-11に示す。溶接継手試験体は、図-15に示すように比較的大型な試験体であったので、これから素材と溶接継手の試験片をそれぞれ2本切り出し引張試験に供した。さらに、端材を用いて表面の詳細観察を実施した。

詳細観察結果より、7種類の素材のうち、チタン合金だけは全く腐食していない。アルミニウム合金、ステンレス鋼、耐食ステンレス鋼、9%Ni鋼についてはフェーズⅡ終了時から腐食の進行が見られず安定した状態にある。この5種類の材料については暴露場所による差異は認められない。

引張試験結果から、銅合金では、沖ノ鳥島で8年目、

表-5 継続して暴露した材料  
(フェーズⅡ溶接継手試験体)

	材料	記号等	試験体の厚み
①	チタン合金	Ti-6Al-4V	3.6mm
②	アルミニウム合金	#5083	10.0mm
③	銅合金	AMB8	6.0mm
④	ステンレス鋼	SUS329J4L	9.0mm
⑤	耐食ステンレス鋼	YUS270	6.0mm
⑥	メッキ鋼	高耐食性メッキ+SM490A	6.0mm
⑦	9%Ni鋼	低温圧力容器用	9.0mm

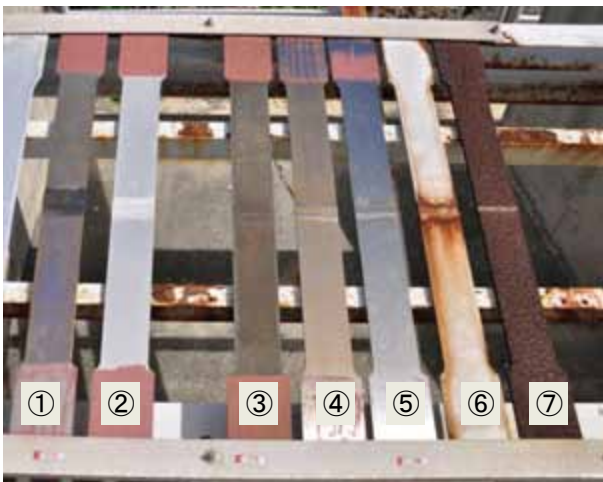


写真-11 継続暴露実験の状況(宮古海岸)

宮古島海岸で5年目以降に溶接部強度のばらつきが大きくなる傾向が見られた。なお、銅合金の溶接部強度は母材より10%ほど低い。宮古島の銅合金の引張強度の経年変化を図-16に示す。また、宮古島海岸で11年暴露したメッキ鋼の溶接試験片に耐力低下が認められた(図-17)。溶接部付近のメッキ層が機能を失い溶接部横の母材の腐食が進行していた。

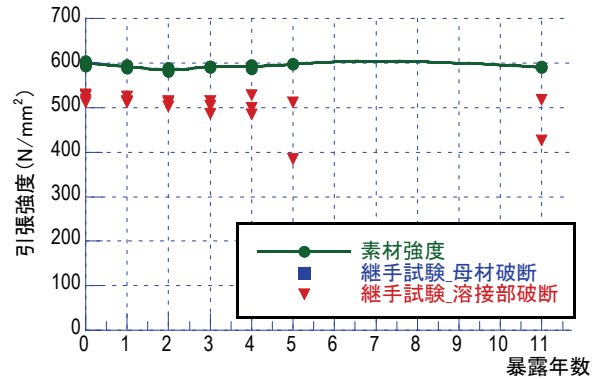


図-16 溶接継手試験体の引張強度  
(銅合金、宮古海岸、フェーズⅡ)

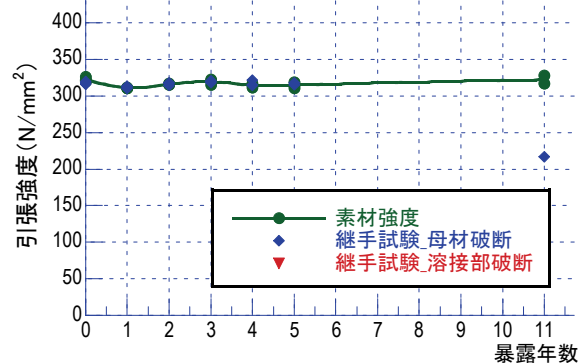


図-17 溶接継手試験体の引張強度  
(メッキ鋼、宮古海岸、フェーズⅡ)

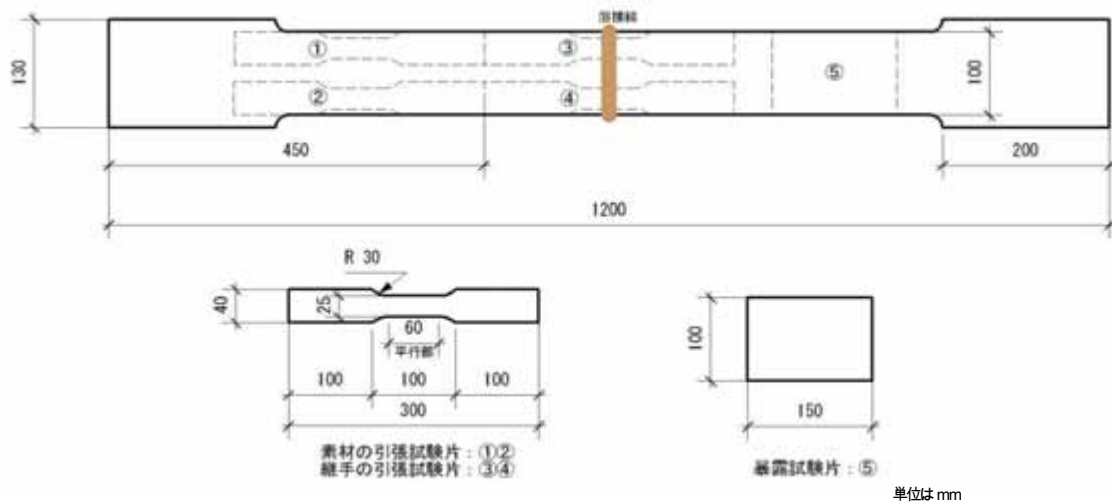


図-15 継続暴露した溶接継手試験体(フェーズⅡ)



#### § 4. おわりに

本研究(フェーズⅢ)の目的は「海洋構造物の耐久設計に役立つデータの取得」である。それぞれの暴露実験で得られた知見を次にまとめる。

- 1) 各暴露場所について、鉄鋼の腐食量と年間の紫外線量を用いてそれぞれの場所の腐食・劣化環境を比較して示した。
- 2) 「耐久強度暴露実験」では、普通鋼以外の金属材料では引張強度の変化がなかった。普通鋼試験片の腐食による耐力低下の傾向より、同じ引張軸力を負荷させた条件においては応力集中部を有するほうが構造的な耐久性が低かった。CFRP に関しては、暴露1年目でいずれの環境においても、材料の馴染みが原因と思われる引張強度のばらつきや10%程度の負荷応力の抜けが確認されたが、その後安定しており劣化が進行していると明確には言えない。また、促進耐候性試験も実施したが引張強度の低下はみられなかった。
- 3) 「飛沫帯暴露実験」では、普通鋼、9%Ni 鋼、耐候性鋼について、熱帯、亜熱帯における海面付近の腐食量に関する実データが得られた。今後、熱帯や亜熱帯の海洋構造物の耐久設計を行う際には非常に貴重かつ重要なデータになると考える。
- 4) 「フェーズⅡからの継続暴露実験」では、最大11年の金属材料の母材と溶接部に関する長期暴露

データを取得することができた。メッキ鋼では溶接部近辺で腐食が進行し強度低下が見られた。銅合金ではある暴露期間以降で溶接部強度がばらつく状況が確認できた。それ以外の材料では強度変化が無く、チタン合金においては腐食が全く確認できなかった。

フェーズⅠ、フェーズⅡに引き続き、フェーズⅢにおいても種々の材料を同一環境で直接暴露に供し、「同じ土俵に立っての耐久性評価」ができたと考える。ただし、構造部材の耐久性評価としては、腐食や劣化による強度変化が確認できた材料が少なかった。50～100年に設定されている海洋構造物の耐用年数を考慮しても、同様の方法で耐久性検証の研究を行うのであれば、さらに長期にわたる計画的な研究プロジェクトが必要であると考えられる。

#### 謝辞

本研究は、既に退職された小野正氏(海洋構造部材検討委員会WG主査)、河村宗夫氏(同WG専門委員)と共に実施したものです。また、研究を進めるにあたっては株式会社エスコの多大なご協力をいただきました。末筆ながら大変感謝申し上げます。

<参考文献>

- 1) “平成 5 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1994, 3
- 2) “平成 6 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1995, 3
- 3) “平成 7 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1996, 3
- 4) “平成 8 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1997, 3
- 5) “平成 9 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1998, 3
- 6) “平成 10 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 1999, 3
- 7) “平成 11 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 2000, 3
- 8) “平成 12 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 2001, 3
- 9) “平成 13 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 2002, 3
- 10) “平成 14 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 2003, 3
- 11) “平成 15 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (社)日本海洋開発産業協会, 2004, 3
- 12) “平成 16 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2005, 3
- 13) “平成 17 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2006, 3
- 14) “平成 18 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2007, 3
- 15) “平成 19 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2008, 3
- 16) “平成 20 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2009, 3
- 17) “平成 21 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2010, 3
- 18) “平成 22 年度 海洋石油開発技術等調査 極限海域における海洋構造物の基礎調査研究 熱帯域における海洋構造物への新素材を利用した 構造部材適用可能性研究”, (財)エンジニアリング振興協会, 2011, 3
- 19) Tomosawa, F., Nakatsuji, T., Kimura, K., Saka, K., Kawaguchi, H., “Evaluation of the ACM Reinforcement Durability by Exposure Test”, Proceedings of the OMAE 1998, OMAE98-4361, 1998.
- 20) Tomosawa, F., Tsujikawa, S., Nakatsuji, T., Yonemaru, K., Okihara, Y., Kitano, A., Saka, K., Kawaguchi, H., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Exposure Test of Structural Materials at Okinotori-shima–”, Proceedings of the OMAE 2001, OMAE01/MAT-3105, 2001.
- 21) Tomosawa, F., Tsujikawa, S., Nakatsuji, T., Yonemaru, K., Saka, K., Kawaguchi, H., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Specimens Exposed for 1 Year–”, Proceedings of the OMAE 2002, OMAE2002-28184, 2002.
- 22) Tomosawa, F., Tsujikawa, S., Ono, T., Nakatsuji, T., Yonemaru, K., Kugai, Y., Kitano, A., Miura, H., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Specimens Exposed for 2 Years–”, Proceedings of the OMAE 2003, OMAE2003-37078, 2003.
- 23) Tomosawa, F., Tsujikawa, S., Ono, T., Yonemaru, K., Kugai, Y., Miura, H., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Specimens Exposed for 3 Years–”, Proceedings of the OMAE 2004, OMAE2004-51088, 2004.
- 24) Tomosawa, F., Tsujikawa, S., Ono, T., Yonemaru, K., Kugai, Y., Miura, H., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Durability assessment of new materials–”, Proceedings of the OMAE 2006, OMAE2006-92110, 2006.
- 25) Tomosawa, F., Sekita, K., Ono, T., Yonemaru, K., Takizawa, S., Suzuki, T., “Research on Applicability of New Materials to Marine Structures in Tropical Climates –Exposure test project in consideration of actual state of structural members–”, Proceedings of the OMAE 2008, OMAE2008-57078, 2008.
- 26) 例えば “腐食防食ハンドブック CD-ROM 版 第 2 版”, (社)腐食防食協会, 丸善, 2005, 5
- 27) H.A. Humble : Corrosion, 5, 292, 1949.