

# 海洋暴露試験20年の研究成果

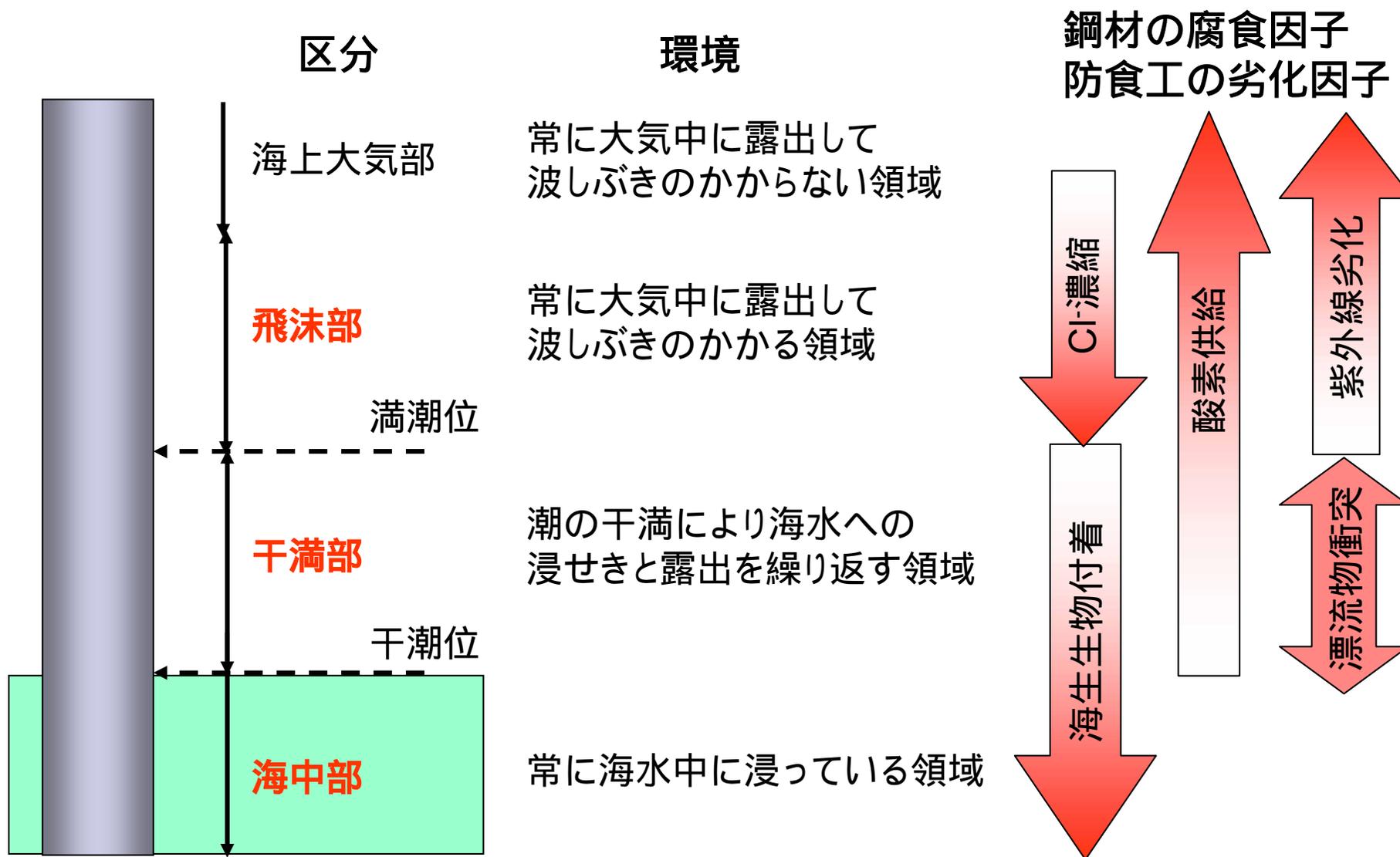
## 飛沫部・干満部・海中部における 鋼構造物の防食技術



独立行政法人 土木研究所

社団法人 日本鉄鋼連盟 海洋防食第1分科会

# 海洋における腐食環境とは



# 目的

海洋鋼構造物の高度な防食技術の開発

海洋技術総合  
研究施設

暴露20年による  
耐久性評価

沿岸環境での鋼構造物の耐久性予測技術の向上  
(LCMを適切に実施するために有効なデータの取得)

## テーマ1

「無防食材(普通鋼)の腐食速度の検討」

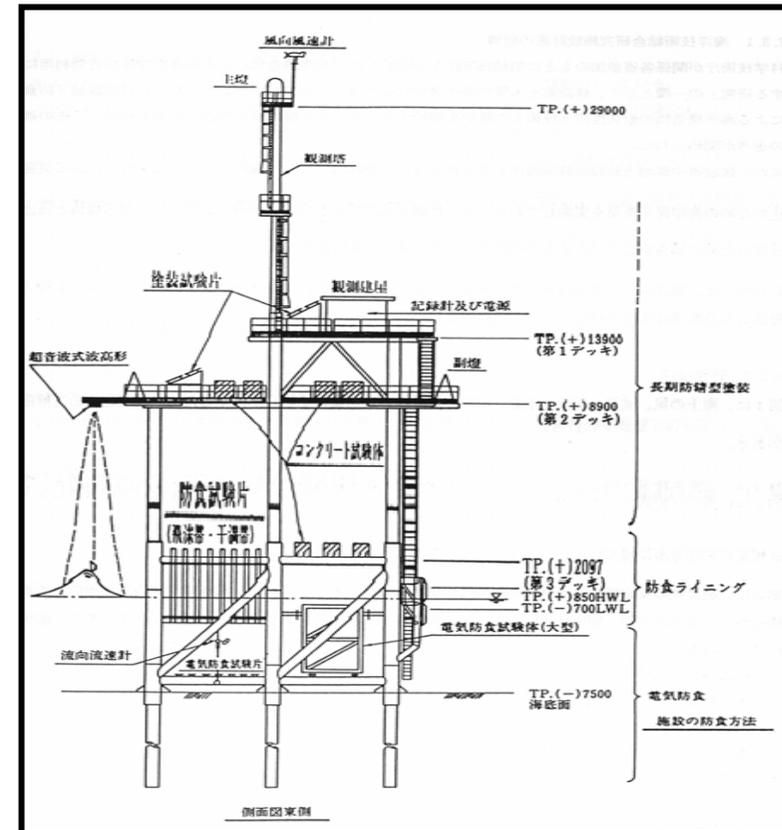
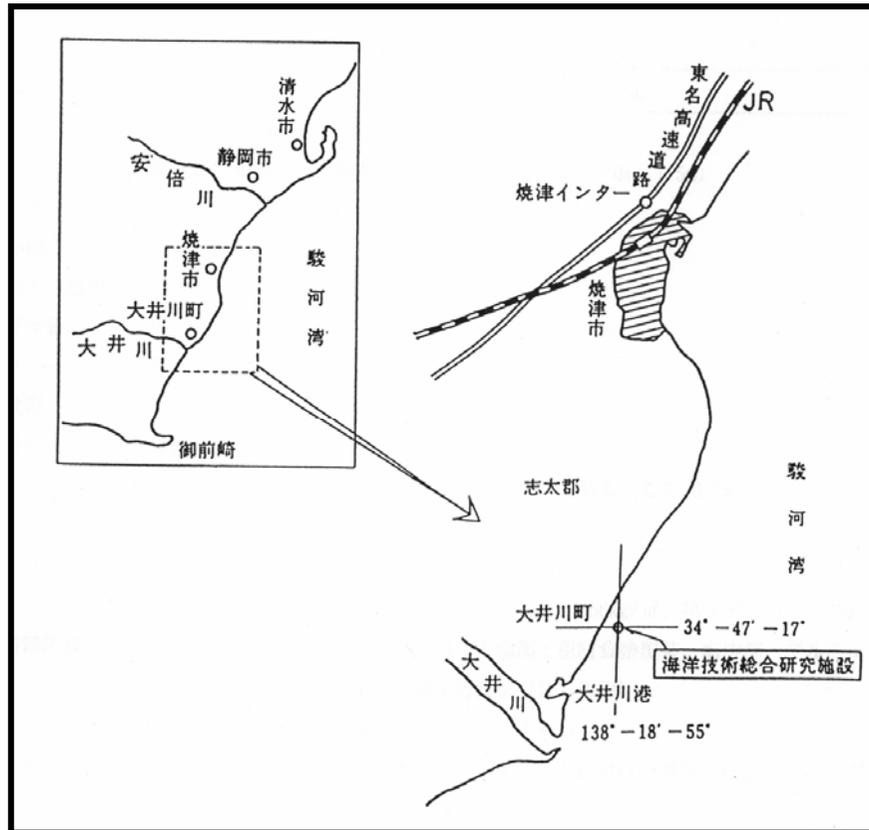
## テーマ2

「高耐食性金属被覆法の適用による長寿命、  
低コスト防食技術の確立」

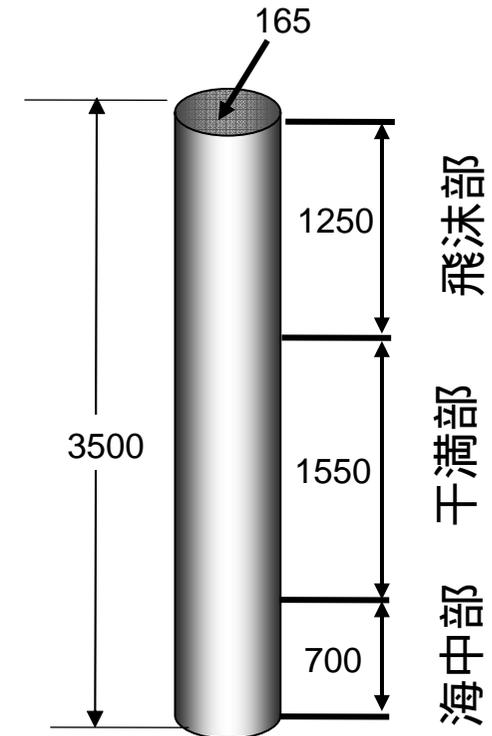
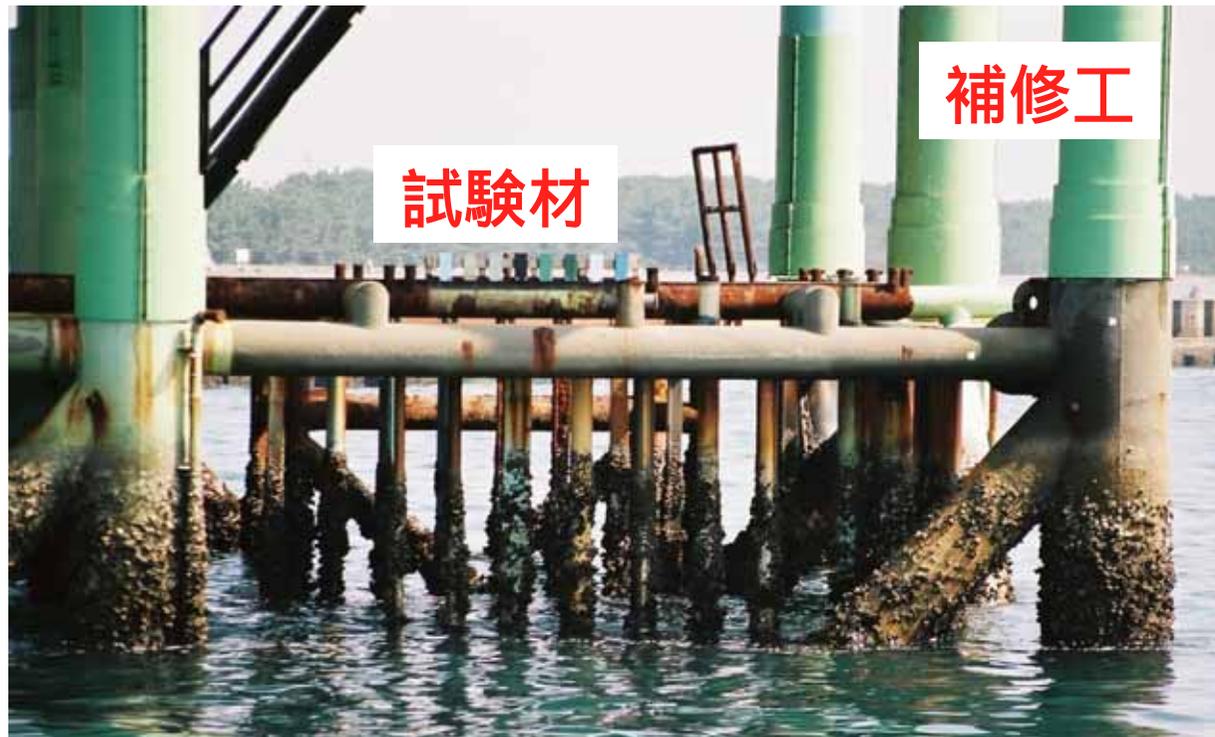
## テーマ3

「新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性」

# 海洋技術総合研究施設の位置と概要



# 暴露試験方法

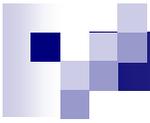


1984年から2003年まで延べ100試験体程度を最長20年間暴露

# 試験材の仕様と評価項目

	分類	防食方法	
<b>テーマ1</b> 無防食材・塗装材 の劣化機構	普通鋼材	普通鋼、普通鋼 + 一般塗装	外観 板厚
<b>テーマ2</b> 高耐食性金属 被覆法	ステンレス鋼	SUS304鋼, SUS316L鋼	外観 孔食深さ
		SUS304鋼, SUS316L鋼 + 電気防食	
		高耐食性ステンレス鋼 (高Cr,高Mo系)	
	チタン	純チタン (+ 隙間付与)	

水分・酸素・塩化物の透過遮断  
 金属被覆材料自体の耐食性がポイント



		防食系	有機樹脂
<b>テーマ3</b> 新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性	工場被覆系	有機ライニング	ポリエチレン樹脂 ポリウレタン樹脂 + ふっ素樹脂 ポリウレタン樹脂 + アクリル樹脂
	工場 / 現地被覆系	厚膜塗装	超厚膜形エポキシ樹脂塗料
	現地被覆系	防食材 + 保護カバー	ペトロラタム + 保護カバー

評価項目： 外観、膜厚、交流抵抗、ピンホール、付着力、塗膜下の腐食

水分・酸素・塩化物の透過抑制  
被覆層の交流抵抗値がポイント

# 鋼材の腐食に関する検討

## ■ 定点観測で20年間の腐食挙動を詳細に調査

15.5年

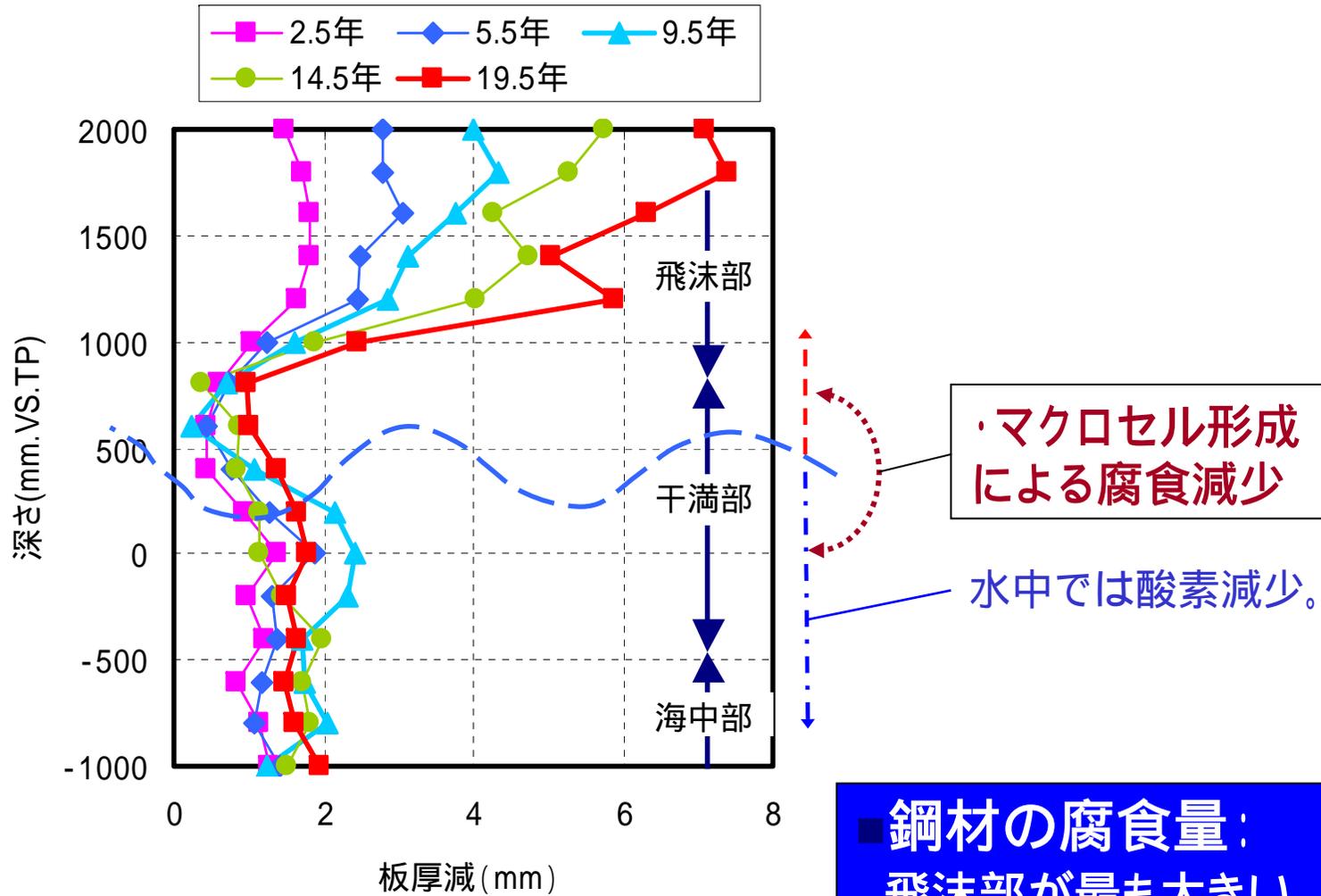


図 深さ方向の減肉量分布 (普通鋼)

# 無防食鋼材の腐食速度変化

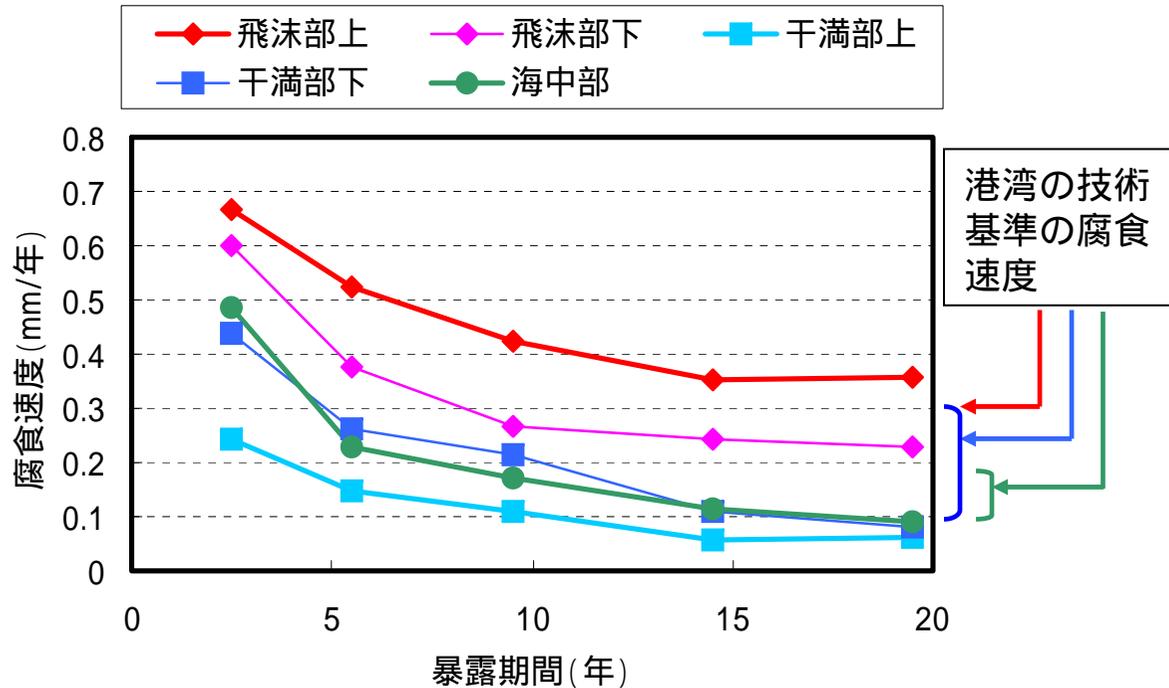
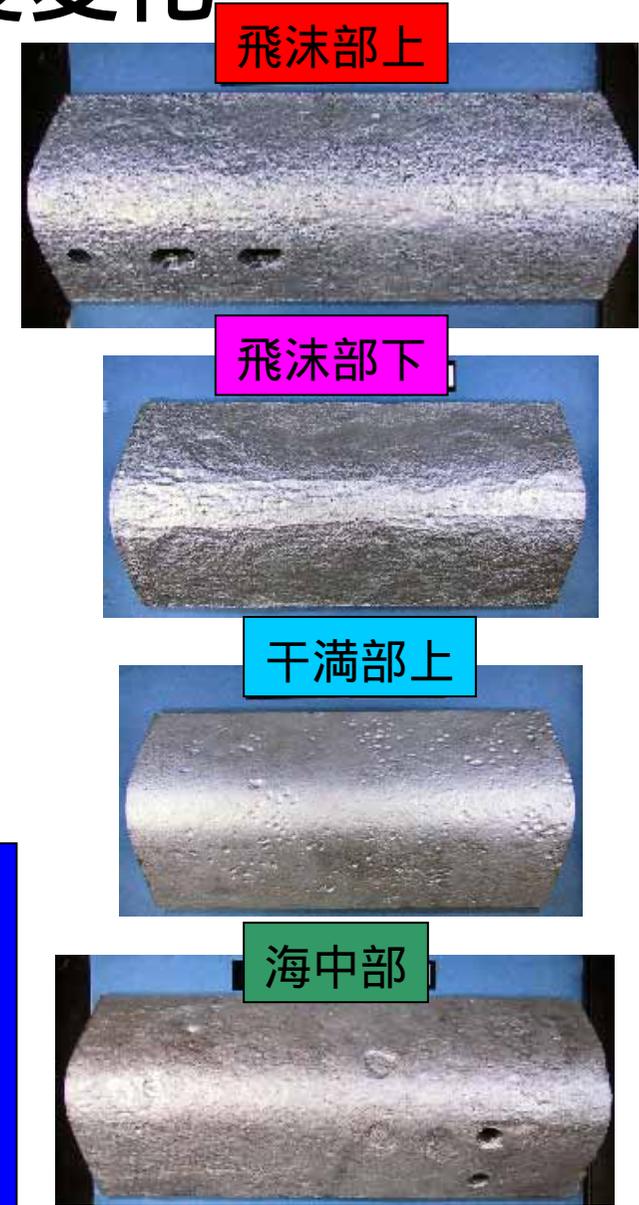


図 環境毎の腐食速度の経時変化 (普通鋼)



- 初期の腐食速度は非常に大きいですが、次第にその速度は低下
  - 長期では港湾の技術基準の腐食速度\* とほぼ一致
- \* 「港湾の施設の技術上の基準・同解説」

## テーマ1

# 「無防食材(普通鋼材)の腐食速度の検討」 まとめ

- ・ 無防食鋼材の腐食速度は、飛沫部が最も大きかった。
- ・ 無防食鋼材の腐食速度は、部位に依らず時間と共に漸減して15年程度でほぼ一定の値となり、その平均値はこれまでの港湾の技術基準とほぼ一致した。

# ステンレス鋼の耐久性に関する研究

汎用ステンレス鋼(SUS304, SUS316L)の一般認識

- \* 通常的生活圏 / 「さびない鋼」として認知
- \* **海洋環境下 / 飛沫部 ~ 海中部で局部腐食が発生**

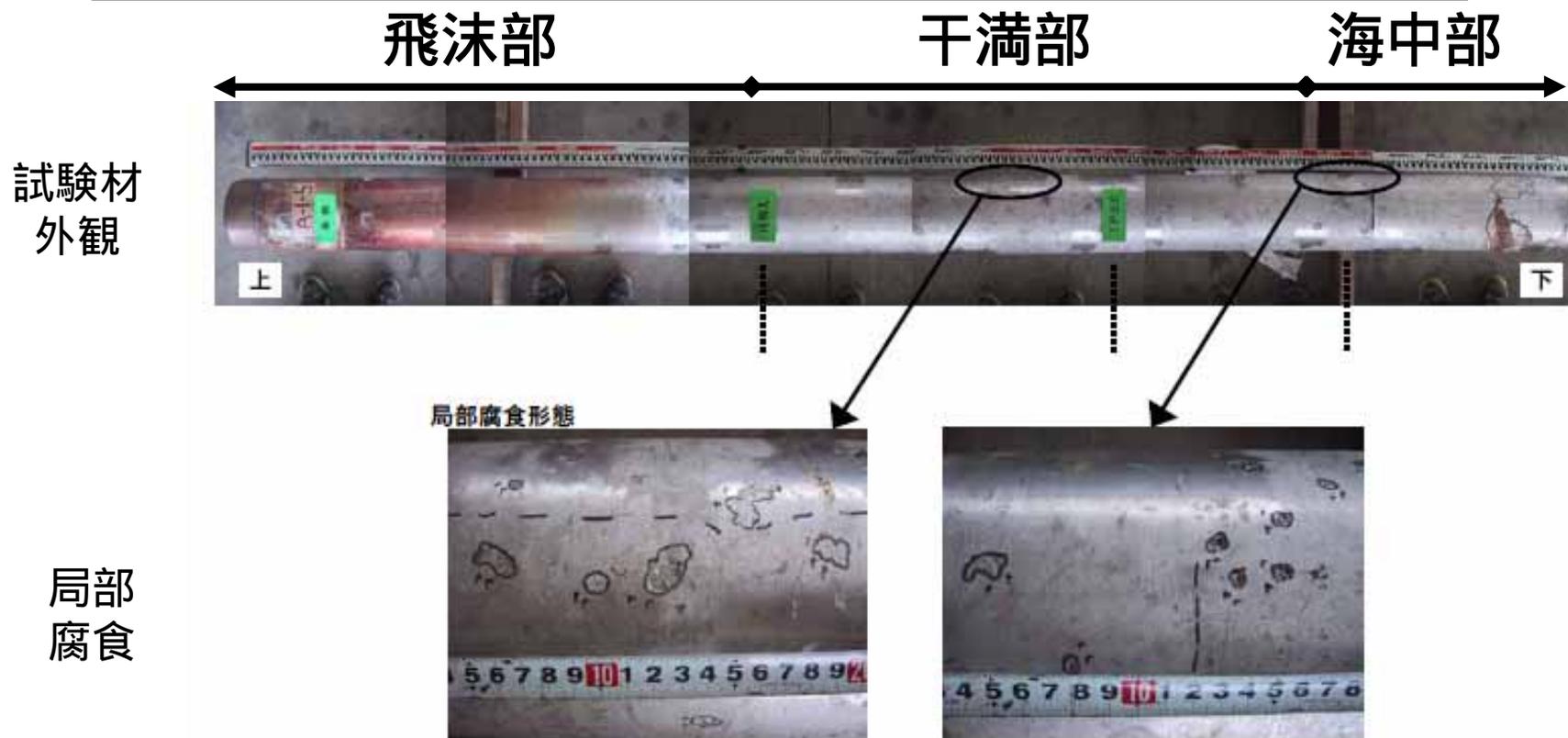


図 汎用ステンレス鋼(SUS316L)の暴露試験結果例(20年)

## 汎用ステンレス鋼の暴露結果

### < 局部腐食の経時変化 >

#### \* 海洋環境下

- ・ **海中部・干満部** 大型海生生物付着  
下で **すきま腐食**
- ・ **飛沫部** **孔食**

#### \* 腐食の程度

- ・ 飛沫部の方が干満部および海中部よりも腐食の程度はかなり軽微

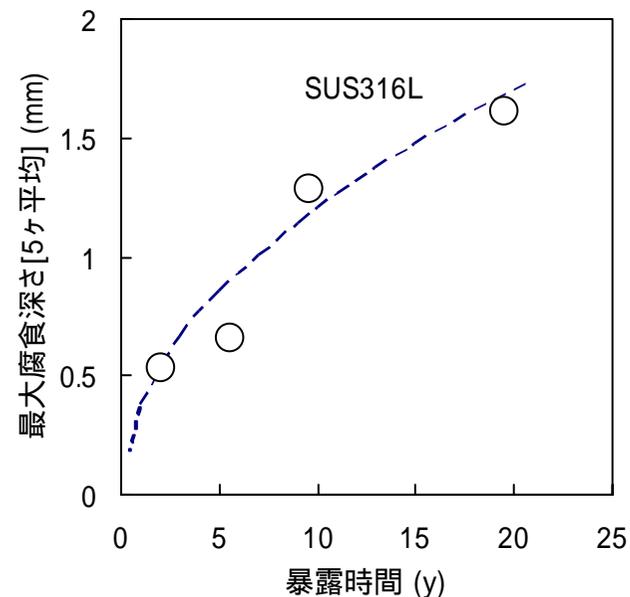


図 局部腐食深さの経時変化  
(深い方から5つの平均値)

電気防食の適用

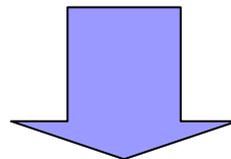
高耐食性ステンレス鋼の適用

## 電気防食の適用

干満部 2年



海中部 2年



電気防食 (-500, -770 mV<sub>SCE</sub>)

干満部・海中部ともに局部腐食無し。効果大

# 高耐食性ステンレス鋼の適用

Cr, Mo, N等耐食性改善元素を増量したステンレス鋼

< 結果 >

\* 局部腐食状況：全く見られない。

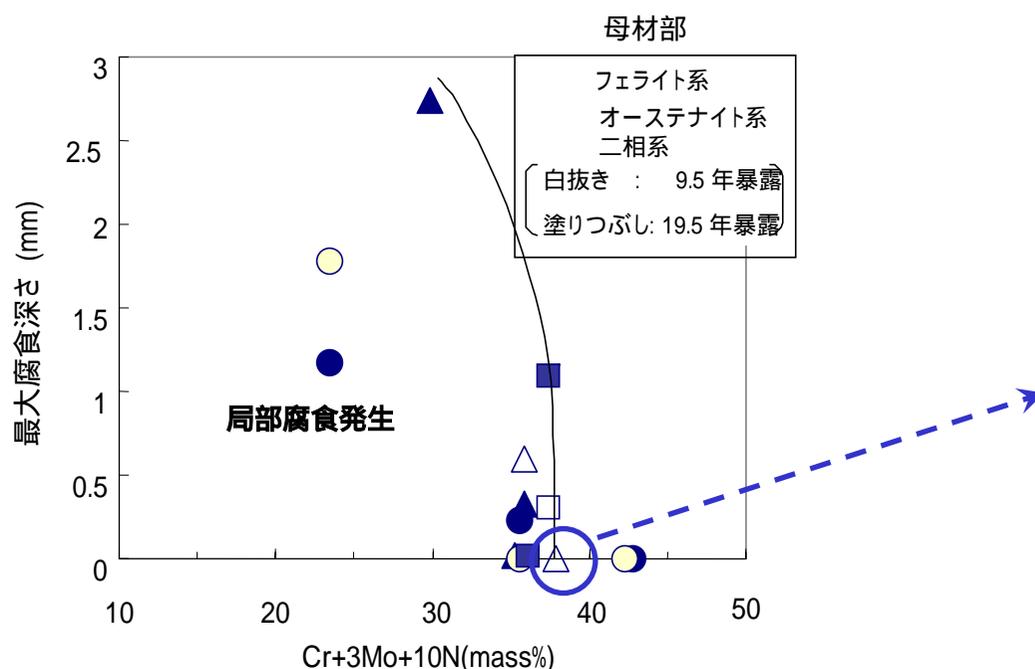


図 高耐食性ステンレス鋼例  
(20年暴露で腐食無し)

図 ステンレス鋼の耐久性評価 (海中部～干満部)

耐海水性の確保には、Cr+3Mo+10N 38 (mass%)  
「高耐食性ステンレス鋼」が有効である

## テーマ2

# 「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」まとめ

## ステンレス鋼の耐久性

	SUS304鋼、SUS316L鋼 これらと同等の耐食性を有するステンレス鋼	Cr+3Mo+10N 38(mass%) を満足する各種ステンレス鋼
飛沫部	局部腐食発生有り	局部腐食発生無し
干満部	電気防食の併用で	
海中部	局部腐食発生無し	

低コスト防食技術として高耐食性ステンレス鋼被覆を提案

# 高耐食性ステンレスライニングの適用例

## ■ 高耐食性ステンレス鋼の溶接ライニング例

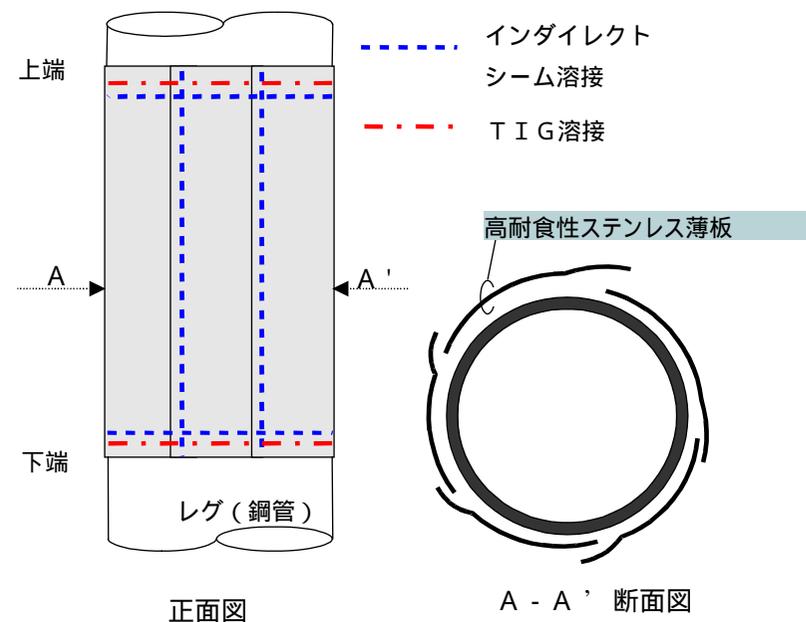
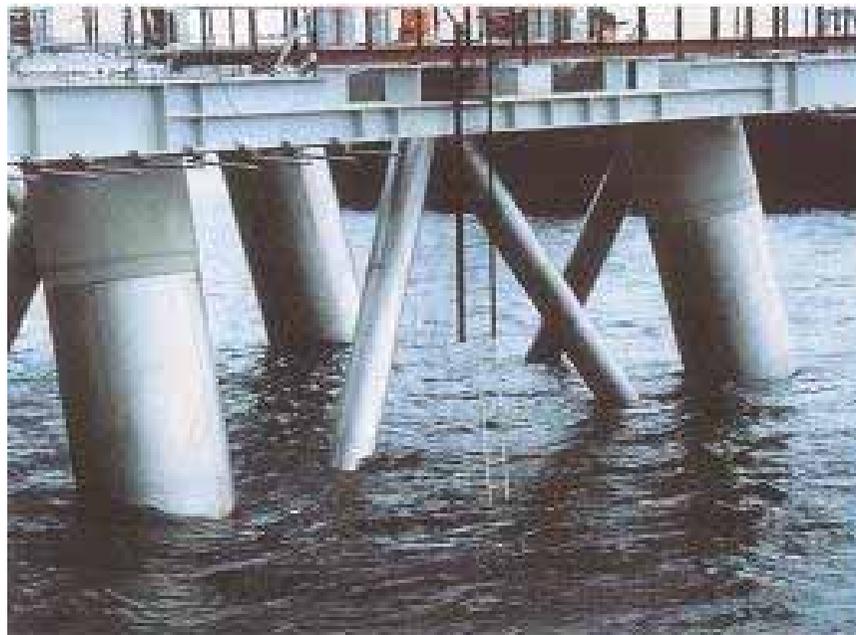


図 高耐食性ステンレスライニングの適用例とステンレスライニング材の構成の一例（火力発電所用シーバース）

# 有機ライニング鋼材の耐久性に関する研究

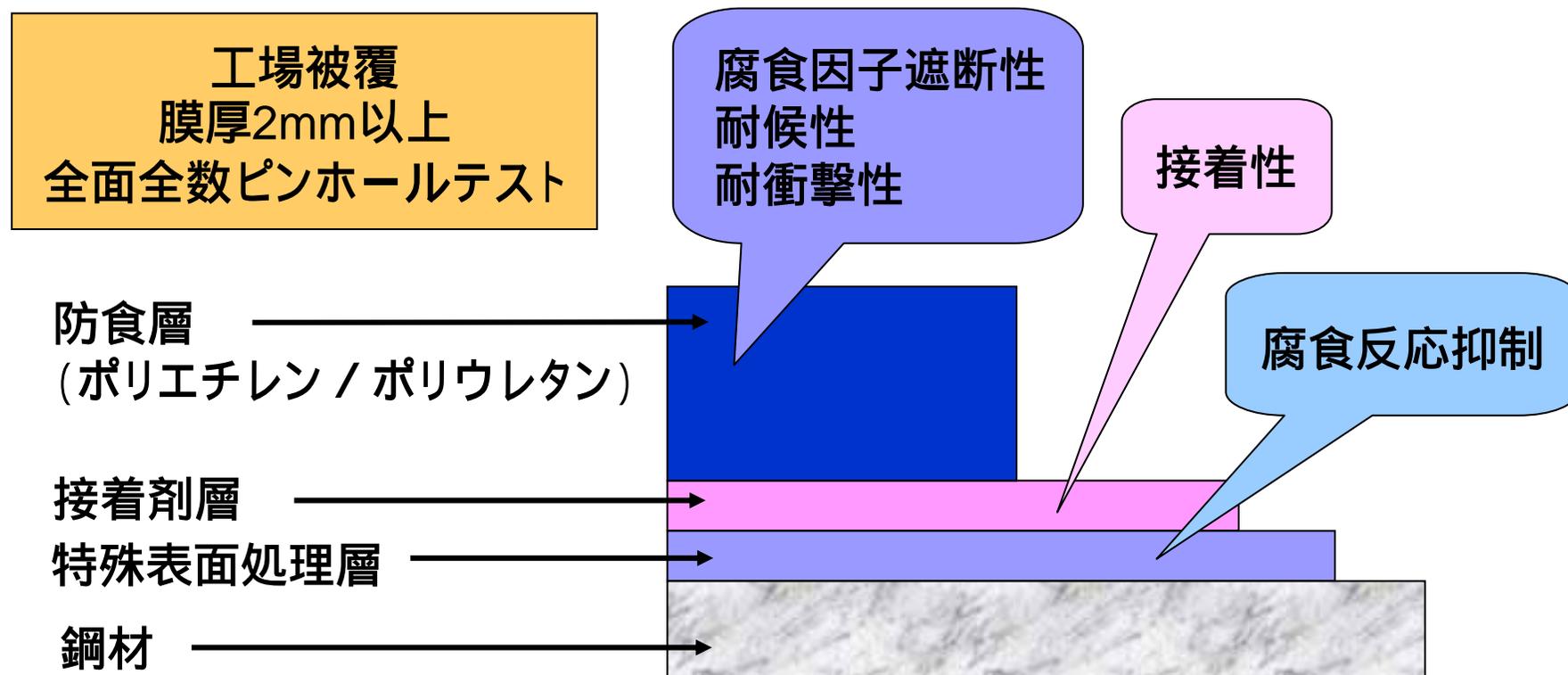
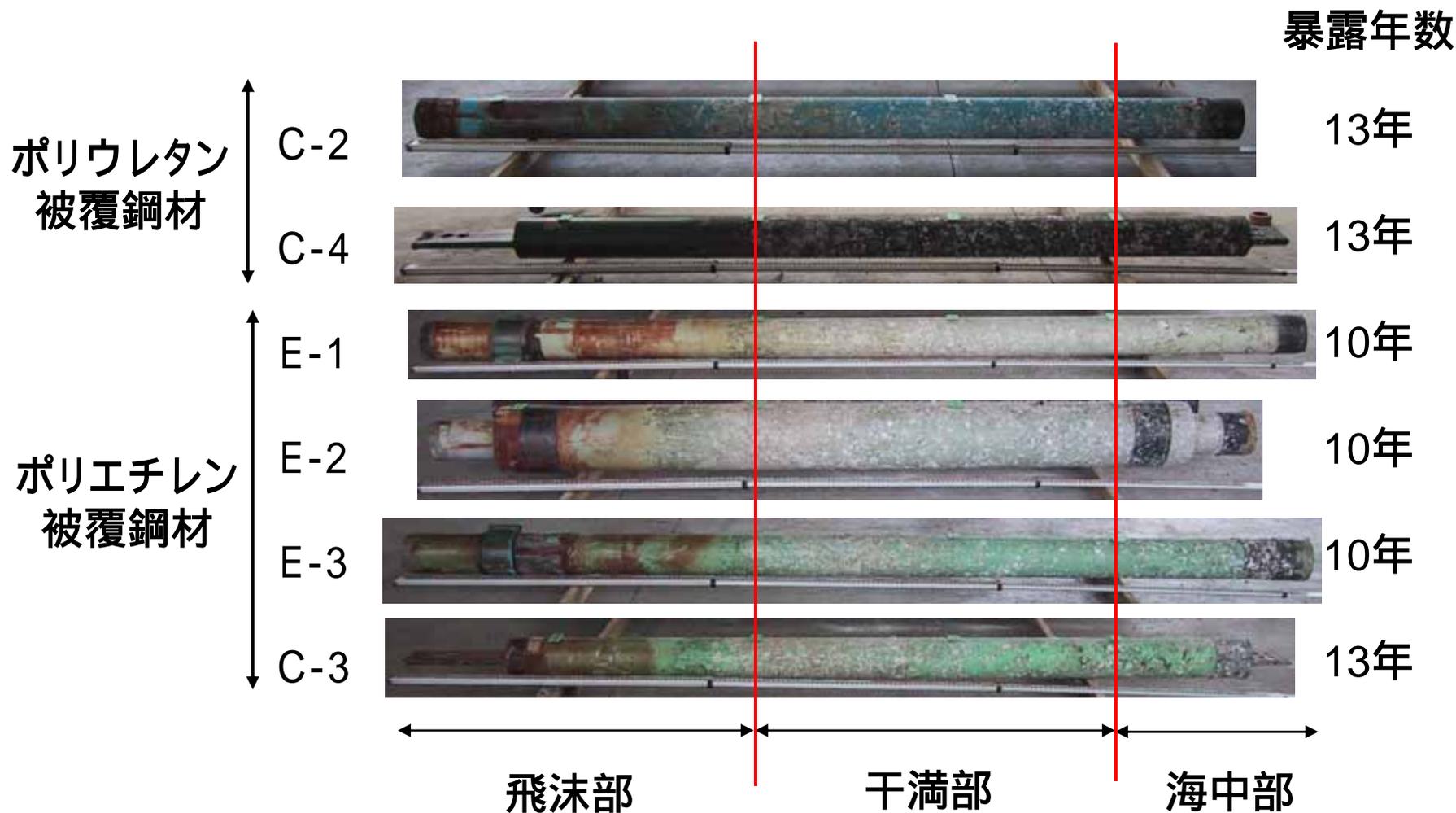


図 各種有機ライニング鋼材の構成の一例

# 有機ライニング鋼材の暴露試験後の外観



飛沫部・干満部および海中部において  
いずれの試験体も腐食の発生は認められず

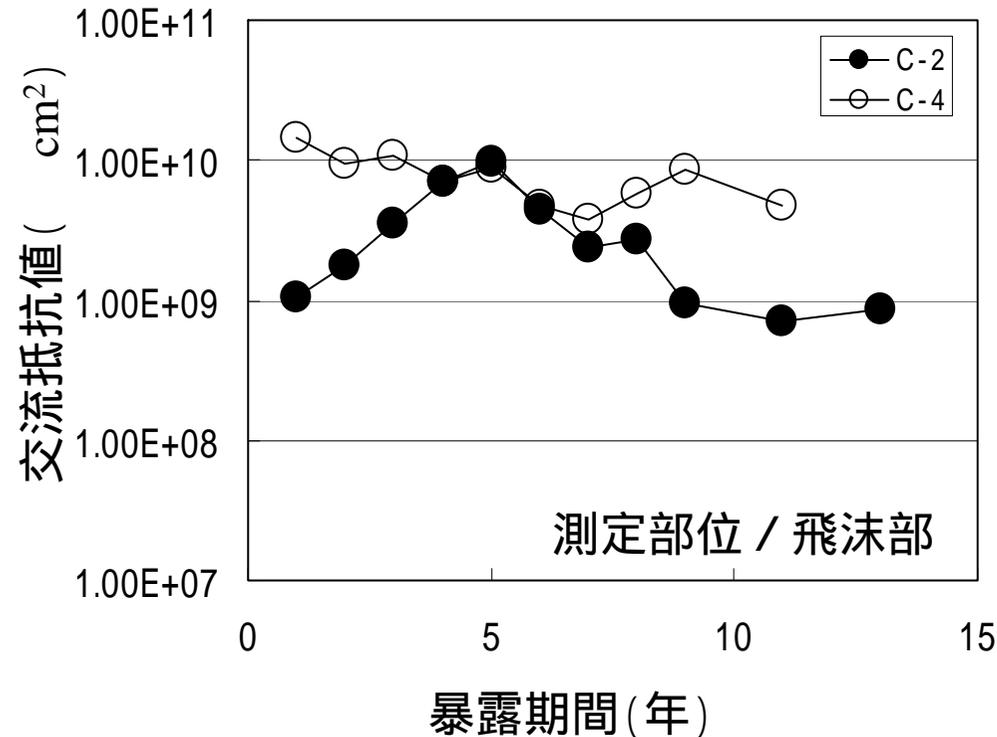


図 有機ライニング鋼材の交流抵抗値に及ぼす  
暴露期間の影響(現地測定、0.2kHz)

交流抵抗値が低下せず  
長期間の海洋暴露試験にわたって初期の防食性能を維持

# 保護カバーを用いた現地防食方法の 耐久性に関する研究(ペトロラタムライニング)

## ペトロラタムライニングの概要

### ペトロラタム系防食材の機能

減圧蒸留残渣油から分離精製した半固形のワックスを主材とし、鋼材表面を腐食性環境から遮断して腐食を防止する

### 保護カバーの機能

波力や漂流物の衝突等の外力から柔らかなペトロラタム系防食材を保護する

### 主な特徴

新設・既設の鋼構造物へ現地施工可能  
干満部や海中部でも施工可能  
高度な素地調整を必要としない

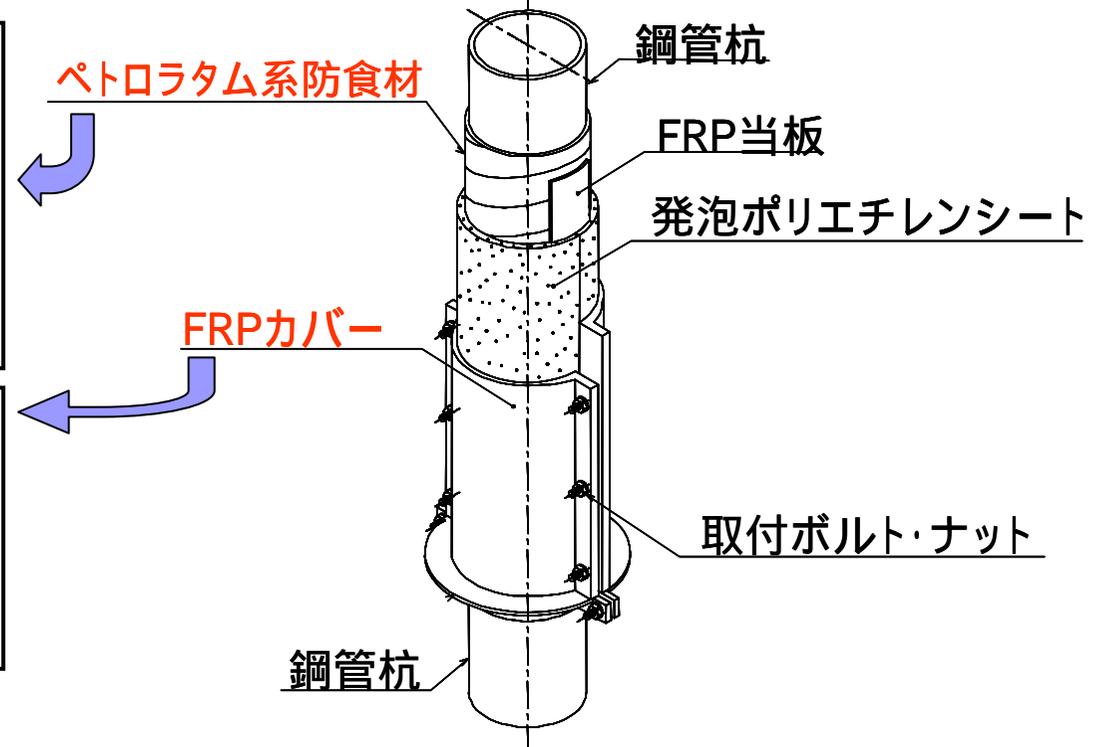


図 ペトロラタムライニングの概略図

# 試験材の外観観察

台風時における漂流物の衝突等による保護カバー（標準仕様）の損傷が発生



耐衝撃性能を向上させた保護カバーに更新(表)



**損傷を受ける頻度が低減**



図 標準仕様



図 耐衝撃仕様

表 FRP保護カバー材の耐衝撃性能比較例

	カバー厚さ (設計値 mm)	耐衝撃エネルギー - (kgf・m)注)	耐衝撃強度比 ( - )	暴露試験期間
標準仕様	2.0	0.81	1.0	1984年～1997年
耐衝撃仕様	4.5	5.65	7.0	1993年～

注) ISO/DIS6603に準拠した試験法による

## 防食効果の確認



図 ヘトロタム系防食材の外観状況  
(保護カバーを外した状態)

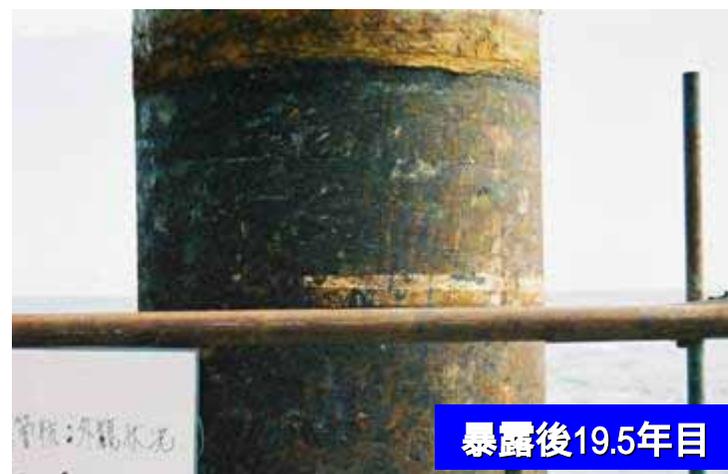


図 鋼材表面の外観状況  
(ヘトロタムを外した状態)

### 暴露後19.5年目

**ヘトロタム系防食材** : はがれ等の損傷箇所は認められなかった  
**鋼材表面** : 発錆等の腐食箇所は認められなかった



**長期間(約20年間) 良好な防食状態を維持**

## テーマ3

# 「新規塗覆装材料および工法の実使用状態での確性」まとめ

- ・ 海洋環境に長期間暴露した有機ライニング鋼材の被覆層は初期の防食性能を保持しており、飛沫部・干満部および海中中部において、さびやふくれの発生が認められず、良好な耐久性を有することが確認できた。
- ・ 保護カバーを用いた現地防食工法については、カバーの耐衝撃性を改善することにより漂流物の衝突による損傷が低減でき、その結果、海洋環境における鋼材に対する防食性能が向上した。

## 有機ライニング鋼材の適用例



図 ポリウレタン被覆鋼材の適用例(徳山下松港新南陽地区岸壁)

## 保護カバーを用いた現地防食工法の適用例



図 耐衝撃仕様FRP保護カバーを用いた現地防食工法の係留杭への適用例

# ま と め

20年の長期暴露試験の結果、将来の技術開発の方向性や、提案仕様の有効性を証明する説得性の高いデータを系統だって採取し、当初の計画を完了した。

## 今後の計画

‘03年から’13年までさらに10年間の新たな海洋暴露試験を計画



- 新たに開発された防食技術の暴露試験
- 30年暴露の長期耐久性評価

独立行政法人土木研究所と社団法人日本鉄鋼連盟の共同研究で実施。