

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1336 September 2017

港湾鋼構造物の対策工法選定フローの提案

加藤 絵万
染谷 望
川端雄一郎
田土 弘人
山路 徹
仲谷 伸人

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所

National Institute of Maritime,
Port and Aviation Technology, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 港湾鋼構造物の対策工法選定フローの提案	4
2.1 基本方針	4
2.2 鋼部材および防食工法の対策工法選定フロー	6
3. まとめ	17
4. おわりに	17
謝 辞	17
参考文献	18

Practical Approach to Preventive Maintenance of Port Steel Structure

Ema KATO*
Nozomu SOMEYA**
Yuichiro KAWABATA***
Hiroto TADO****
Toru YAMAJI*****
Nobuhito NAKATANI*****

Synopsis

It is essential to apply the anticorrosive coating and/or the cathodic protection to port steel structures such as steel pipe pile and steel sheet pile which are subjected to a severe corrosive environment. Therefore the corrosion-protective components should keep their performance with appropriate maintenance consisting of inspection, assessment, and intervention during their service lives. This paper firstly carried out reviews of the previous studies related to practical maintenance procedures of the corrosion-protective components. Then a flow for each corrosion-protective component is provided based on the deterioration grade which is decided by visual inspection. This paper is expected to assist the port engineers in formulating maintenance and management plans and selecting an appropriate intervention. Some points of attention are also given in terms of selecting intervention of the components.

Key Words: Port steel structures, anticorrosive coating, cathodic protection, deterioration grade, repair

* Head, Structural Mechanics Group
** Researcher, Structural Mechanics Group
*** Senior Researcher, Structural Mechanics Group
**** Visiting Researcher, Materials Group
***** Head, Materials Group
***** Research Group for Corrosion Protection and Repair Method
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5059 Fax : +81-46-844-0255 e-mail:katoh-e@pari.go.jp

港湾鋼構造物の防食対策工法選定フローの提案

加藤 絵万*・染谷 望**・川端 雄一郎***・
田土 弘人****・山路 徹*****・仲谷 伸人*****

要 旨

鋼管杭や鋼矢板等を主部材とする港湾鋼構造物は、電気防食工法または被覆防食工法等の防食工法によって適切に防食を行うことが基本とされている。鋼部材に適用された各種防食工法の防食性能を長期間発揮させるためには、点検診断、評価、対策といった供用期間中の維持管理が適切に行われなければならない。本資料は、港湾鋼構造物の防食実務に関する既往の技術資料を用いて、鋼構造物の予防保全的な維持管理方法について取りまとめるものである。維持管理計画の策定や、定期の点検診断結果を踏まえた対策工法の選定等、施設設置者ならびに施設管理者が担う維持管理業務を補助することを目的として、港湾鋼構造物の劣化度判定に応じた対策工法選定フローを提案し、工法選定にあたっての留意点について概説する。

キーワード：港湾鋼構造物，被覆防食，電気防食，劣化度，対策工法

* 構造研究領域構造研究グループ グループ長
** 構造研究領域構造研究グループ 研究官
*** 構造研究領域構造研究グループ 主任研究官
**** 構造研究領域材料研究グループ 依頼研修員
***** 構造研究領域材料研究グループ グループ長
***** 防食・補修工法研究会
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5059 Fax：046-844-0255 e-mail:katoh-e@pari.go.jp

1. はじめに

鋼管杭や鋼矢板等を主部材とする港湾鋼構造物は、厳しい腐食環境条件下に設置されるため、電気防食工法または被覆防食工法等の防食工法によって適切に防食を行うことが基本とされている¹⁾。一般に、平均干潮面以下の海中部及び海底土中部については電気防食工法、朔望平均干潮面以下 1.0m よりも上の部分については被覆防食工法によって防食対策が講じられる。被覆防食工法は鋼材表面を腐食環境から遮断することで、電気防食工法は外部から鋼材に対して防食電流を加えることで、防食機能を発揮するものである。しかし、対象構造物が新設か既設かによって、適用し得る防食工法は異なる。特に、被覆防食工法は、既設構造物には適用不可能な工法があったり、防食対象部材の設置環境等によって適用不可能な場合があるなど、防食材料の特性だけでなく、現場の制約条件により適用可能な工法が異なることに留意が必要とされている。

港湾鋼構造物では、これまで、鋼部材の適切な防食対策や、防食工法に対する維持管理が実施されなかったために、鋼管杭の腐食が施設の供用に多大な影響を及ぼした事例や²⁾、鋼矢板の腐食に起因すると推測されるエプロン舗装の陥没等の不具合事例が散見されている^{例えば、³⁾}。各種防食工法の防食性能を長期間発揮させるためには、供用期間中の維持管理は不可欠である。また、近年では、既存ストックの有効活用の観点から、鋼部材の予定供用期間を当初想定した以上に延長するケースも増えてきている。このため、鋼部材の防食対策と防食工法に応じた適切な維持管理の重要性はますます高まっているといえる。

ここで、適切な維持管理を実行するためには、点検診断に基づく性能評価と、これに基づく対策工法の選定と実施が基本となる。そして、点検診断、評価、対策のそれぞれが施設の維持管理計画に定められたとおり、計画的に実行されることが重要である。しかし、特に被覆防食に対しては、防食性能の定量的な評価に基づいて対策工法を選定することが困難な場合が多い。したがって、目視調査により判定される劣化度を基準として、対策工法を選定するのが一般的である⁴⁾。

2014年7月に、港湾施設の実践的な点検診断の方法を示した「港湾の施設の点検診断ガイドライン」⁵⁾が公表された。これは、全国一律の考え方により技術基準対象施設の点検診断を実施するためのものであり、港湾施設管理者による目視調査の実施を目標として、構造形式毎、部位・部材毎の点検診断項目と目視による劣化度(d, c,

b, a) の判定基準を示したものである。

また、2015年4月に公表された「港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン」⁶⁾では、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に基づいた点検診断計画や、各部材の補修の時期や方法等を定める維持補修計画を含めた、維持管理計画の策定方法が示されている。同ガイドラインでは、鋼構造物の維持補修の考え方として、各種防食工法の劣化度を目安とした対策の例を示しており⁷⁾、対策の具体的方法については「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル」⁸⁾や「港湾鋼構造物 実務ハンドブック」^{9), 10)}を参照することとしている。ただし、ここで示される対策の例には事後保全を許容するものも含まれることから、劣化度判定から対策選定までの一連のプロセスを予防保全的な観点からあらためて取りまとめることが必要である。

本資料は、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」に示される劣化度判定基準を基本として、港湾鋼構造物の予防保全的な維持管理方法について取りまとめるものである。前述した港湾鋼構造物の維持管理実務に関する技術資料を体系的に取りまとめ、鋼部材および各種防食工法の劣化度判定に応じた対策工法選定フローを提案するとともに、工法選定にあたっての留意点について概説する。

2. 港湾鋼構造物の対策工法選定フローの提案

2.1 基本方針

本資料で提案する港湾鋼構造物の対策工法選定フローは、維持管理計画の策定や定期の点検診断結果を踏まえた対策工法の選定など、港湾施設設置者ならびに管理者が担う維持管理実務を補助することを目的としている。

「港湾の施設の点検診断ガイドライン」⁵⁾によれば、鋼矢板および鋼管杭等の港湾鋼構造物の一般定期点検診断では、主に海上部に位置する鋼部材および被覆防食について目視調査を主体とした点検を行い、劣化度(d, c, b, a)を判定することとされている。また、電気防食については、防食電位を測定し、防食管理電位を満たしている場合は劣化度d、それ以外の場合は劣化度aと判定することとされている。また、同ガイドラインでは、鋼構造物の被覆防食および電気防食が正常に機能していることが確認された場合は、詳細定期点検診断で行う水中部の目視調査や鋼材の肉厚測定は省略してよいとしている。これを踏まえれば、一般的な維持管理実務において対策を計画・実施するためには、劣化度(d, c, b, a)を基準として鋼部材ならびに各種防食工法の対策工法を選定することが効果的といえる。

表-2.1.1 港湾鋼構造物の防食工法と適用する対策工法^{8), 9), 10)}

対 象		防食工法の概要	適用する対策工法	
被覆防食	塗 装	樹脂と顔料に添加剤と溶剤を加えた塗料を、鋼材表面に塗装することにより塗膜を形成して防食する工法。一般に、新設の場合、工場で被覆する。防食対象とする鋼材の形状を選ばず、汎用性が高い。	塗 装 水中硬化形被覆 [*] 超厚膜形被覆 ペโตรラタム被覆 [*]	
	超厚膜形被覆	液状の被覆材を鋼材表面に被覆する工法。工場で被覆する。厚さ1~3mmの被覆を確保できる。		
	水中硬化形被覆	水中施工が可能な材料（主として、水中硬化形エポキシ樹脂系塗料）を用いて、鋼材を現地で被覆する工法。厚さ1~5mmに仕上げる。既設の水中鋼構造物の防食に適用されることが多く、部分補修が容易である。		
	重防食被覆	ポリエチレン被覆	工場で被覆。厚さ2~3mmの被覆を確保できる。ポリエチレンは、耐久性、耐薬品性、耐海水性に優れる樹脂であり、さらにカーボンブラックを配合することによって耐候性を向上させている。耐衝撃性に強く、接着力も強いことから、損傷が生じ難く取り扱易い。	スティック法 パッチ法 ペโตรラタム被覆 [*] 水中硬化形被覆 [*]
		ウレタンエラストマー被覆	工場で被覆。厚さ2~3mmの被覆を確保できる。ウレタンエラストマーとは、弾性のあるウレタン樹脂の名称であり、2液混合硬化形の被覆材である。低温乾燥性がよく、弾力のある硬い被覆で、特に耐摩耗性に優れている。	補修用ポリウレタン工法 水中硬化形被覆 [*] ペโตรラタム被覆 [*]
	耐食性金属被覆	優れた耐食性を有する金属を鋼部材の表面に取り付けて防食する工法。耐海水性ステンレス鋼被覆や薄板チタンクラッド鋼被覆などがあり、工場で被覆する。機械的強度が大きく、耐衝撃性、耐摩耗性に優れる。一方で、初期投資が比較的大きくなる傾向がある。	パッチ当て法 肉盛溶接法 ペโตรラタム被覆	
	モルタル被覆	型枠を兼ねた保護カバーを鋼材表面に設置し、保護カバーと鋼材の間にモルタルを充填する。モルタルのアルカリ性により鋼材腐食の進行を抑え、保護カバーによってモルタルを保護する。	保護カバーの補修 ・水中硬化形被覆 ・補修用カバーの取付け モルタル被覆 [*] 水中硬化形被覆 [*] ペโตรラタム被覆 [*]	
	ペโตรラタム被覆	石油ワックスの一種であるペโตรラタム系の防食材により、鋼材表面を現地で被覆する工法。波浪等の外力や漂流物の衝突から防食材を保護するとともに、防食材を鋼材に密着させて防食効果をより向上させるため、保護カバーを取り付ける。	ペโตรラタム被覆 水中硬化形被覆 モルタル被覆	
電気防食	流電陽極方式	防食する鋼材と鋼材よりもイオン化傾向の高いアルミニウム合金などの金属を、溶接などで電氣的に接続して防食する工法。鋼材と金属（陽極）の電位差によって、防食電流が鋼材に供給される。新設・既設問わず適用できる。	陽極の取付け 陽極の更新	
	無防食の鋼部材		電気防食（M.L.W.L.以下） モルタル被覆 [*] 水中硬化形被覆 [*] ペโตรラタム被覆 [*] 鉄筋コンクリートによる補修工法 鋼板溶接による補修工法	

(無印) 部分補修を対象とする。
※全面補修を含む。

ここで、港湾構造物に限らず、社会インフラにおける鋼部材の防食対策については、新工法や新材料が続々と開発されている。特に、被覆防食工法の工法・被覆材種類は多種多様である。一方で、過去に多数の適用実績を持つ被覆防食工法であっても、被覆材の劣化・変状のメカニズムが明らかにされていないものもある。このため、本資料で提案する対策工法選定フローでは、「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル」⁸⁾および「港湾鋼構造物 実務ハンドブック」^{9), 10)}をベースとして、現在、港湾鋼構造物で一般的に適用される防食工法を選定し、それらの

劣化・損傷に対する一般的かつ予防保全的な対策工法を示すこととした。

本資料で対象とする防食工法の概要と、それぞれに適用する対策工法を表-2.1.1に示す。また、それぞれの防食工法の劣化度（d, c, b, a）については、「港湾の施設の点検診断ガイドライン」⁵⁾巻末に示される劣化度判定基準によるものとする。

なお、点検診断で把握できる変状の程度に応じて、適用できる対策工法は変化する。このため、変状を詳細に把握することが、鋼構造物の維持管理に効果的な対策工

法を選定することに繋がるといえる。この観点から、対策工法選定フローの提案にあたっては、目視により判定される劣化度（d, c, b, a）を基本として代表的な工法を選定することとするが、臨時詳細点検診断で把握する項目も加え、より効果的な対策工法が選定できるよう配慮した。

また、防食工法の防食機能が低下あるいは喪失している場合は、鋼部材の腐食が発生・進展している可能性がある。このため、各種防食工法の劣化度 a 時の対応として、無防食の鋼部材の対策工法選定フローもあわせて提案することとした。

ただし、実際に、防食工法および鋼部材の対策を実施するにあたっては、対象とする個々の部位・部材について、補修設計のための詳細調査を実施する必要があるとともに、適用する対策工法の施工条件、施工費用、予定供用期間中に対策効果を維持するための費用等についての検討を行った上で、ライフサイクルコスト等の観点も踏まえて対策の選定が必要である。

2.2 鋼部材および防食工法の対策工法選定フロー

図-2.2.1～2.2.8 に、港湾鋼構造物の劣化度判定に応じた対策工法選定フローを示す。また、2.2.1 無防食の鋼部材、2.2.2 被覆防食、2.2.3 電気防食として、対策工法選定フローについて解説するとともに、工法選定にあたっての留意点を記す。

2.2.1 無防食の鋼部材

図-2.2.1 に無防食の鋼部材の対策工法選定フローを示す。無防食状態の鋼部材の対策工法の選定にあたっては、鋼部材の腐食の程度に応じて性能回復のための補修工法を選定するとともに、被覆防食および電気防食を施すことが重要である。

鋼部材の一般定期点検診断では、腐食による開孔や変形がないことが目視で確認された場合に、劣化度dと判定される。予防保全的な維持管理を実施する観点からは、劣化度dと判定された場合においても、可能な限り早期に肉厚測定を実施し、当該鋼材の腐食速度から予定供用期間における減肉量を予測した上で、予定供用期間にわたって鋼部材が力学性能を満足できるか確認する必要がある。なお、無防食の鋼部材では集中腐食によって一部の部位が著しく減肉する場合があります、またその程度は部材ごとに大きく異なる。特に、鋼矢板の場合、凸面において集中腐食が発生することが知られている¹¹⁾。したがって、構造物の構造安全性を適切に評価するためには、これらの点に留意して調査数量等を決定する必要がある。

予定供用期間にわたって力学性能を満足する場合は、適切な防食対策の実施を検討する。これは、無防食の港湾鋼構造物では、集中腐食の発生により、当初想定した腐食しろ以上に腐食が進行している事例が数多く見られるためであり、構造物の安全な利用を担保するためにも防食対策は必須と考える。

予定供用期間にわたって力学性能を満足しない場合は、劣化度 a と判定された場合と同じ対応を取る必要がある。鋼部材の一般定期点検診断では、腐食による開孔や変形など著しい損傷が目視で確認された場合、劣化度 a と判定される。この場合、詳細臨時点検診断として水中部の目視調査や鋼部材の肉厚測定を実施し、その結果から各部材の性能（主に、力学性能）を評価する。その後、予定供用期間にわたって鋼部材の力学性能を満足させるために、すべての鋼部材について個々に適切な補修範囲と対策工法を選定する。

鋼部材の対策工法としては、一般に、鋼板あるいは鉄筋コンクリートを用いる工法が適用される。鋼板を用いる工法は、腐食した鋼部材に鋼板を溶接する工法である。鉄筋コンクリートを用いた工法は、鋼部材にスタッドを溶接するなどして、鋼部材と鉄筋コンクリートを一体化させながら腐食した鋼部材を被覆する工法である。なお、いずれの工法を適用した場合についても、劣化度 d の場合と同様に、適切な防食対策を適用しなければならない。

なお、長期間無防食状態にあった鋼構造物では、発生しているさびの量が多いことから、電気防食の適用初期には、さび層を還元するために防食電流の一部が消費される。このため、防食電流が定常値に達するまでの時間は新設構造物よりも長くなり、鋼部材の防食に必要な防食電流密度も大きくなるため、防食電流密度を 1.1～1.2 倍程度見込むことが望ましいとされている¹²⁾。

また、鋼矢板式や鋼管矢板式の構造物の場合、コンクリート製の上部工の下端深度が低い場合がある。上部工の下端深度がM.L.W.L.（電気防食の標準的な適用範囲の上限）程度であれば、電気防食のみの適用であってもほぼ 100%の防食効果が得られる¹²⁾。この場合、被覆防食工法の適用を省略してもよい。

2.2.2 被覆防食

a) 塗装、超厚膜形被覆、水中硬化形被覆

塗装、超厚膜形被覆、水中硬化形被覆において劣化・損傷が発生しやすい箇所として、塗膜・被覆の端部（上端、下端）、鋼材のエッジ部、溶接部などが挙げられる。また、鋼矢板、鋼管矢板の場合、継手部が挙げられる¹³⁾。継手部については、塗装や超厚膜形被覆が工場施工され

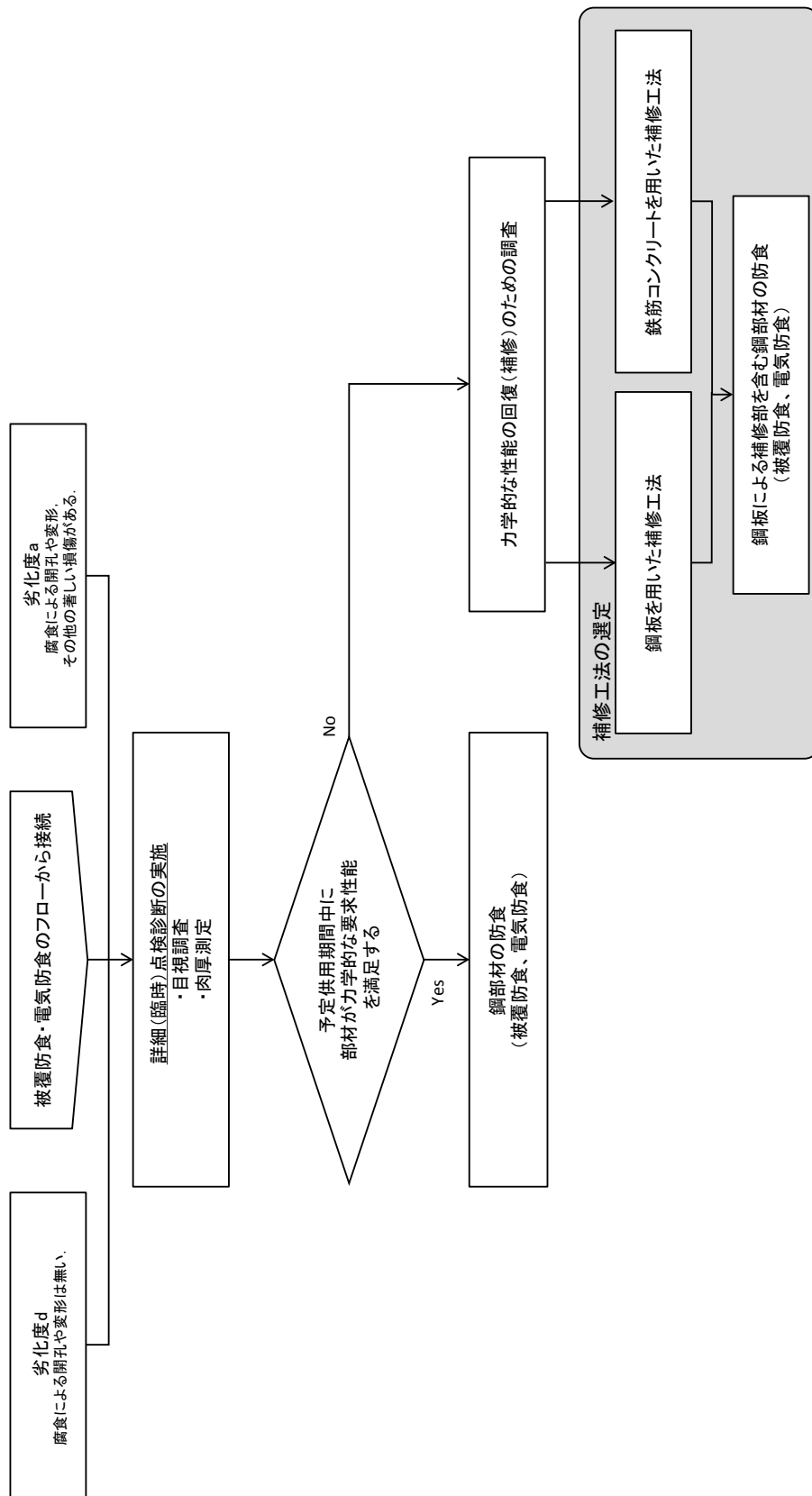


図-2.2.1 無防食の鋼部材の対策工法選定フロー(案)

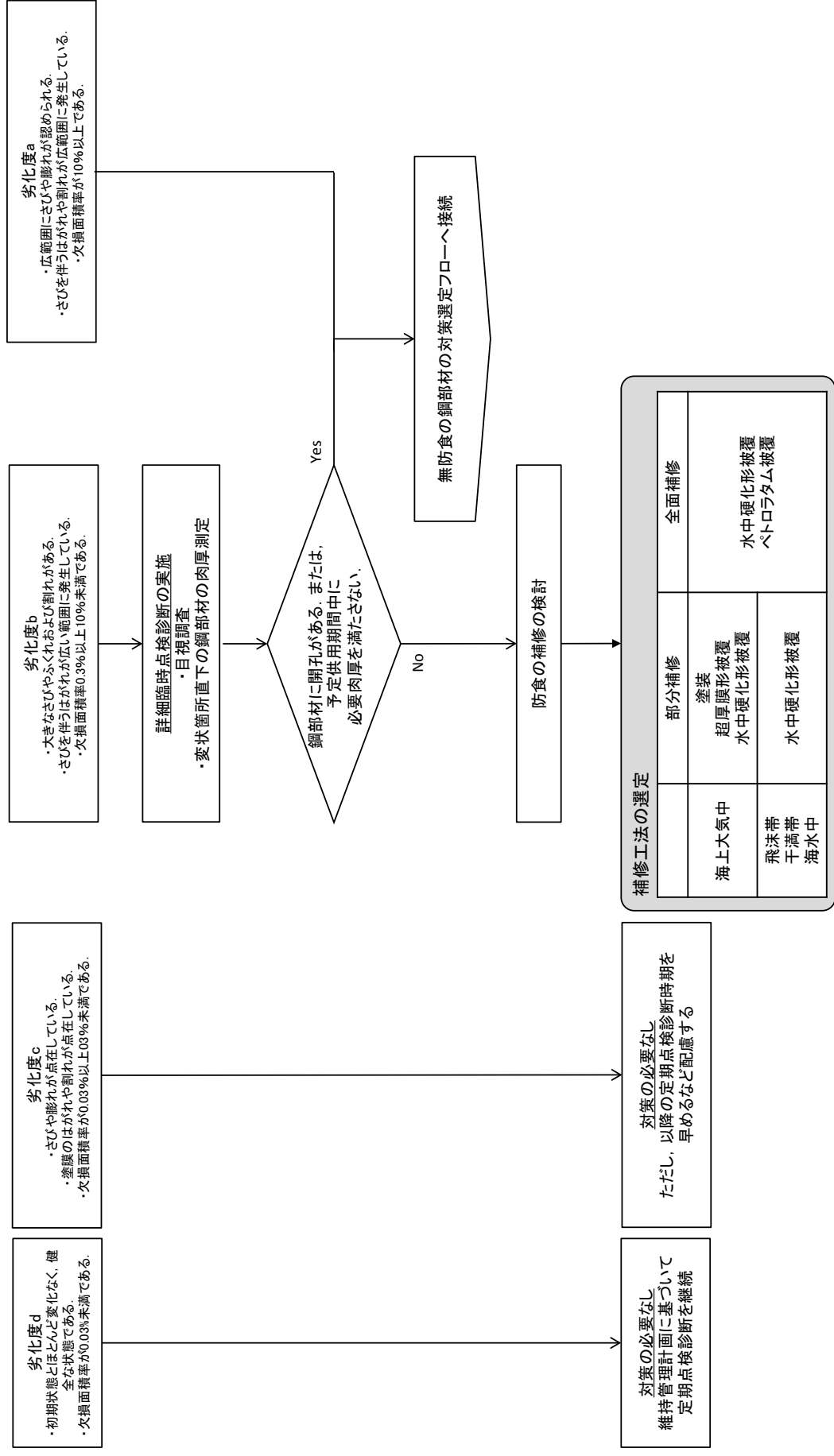


図-2.2.2 塗装, 超厚膜被覆, 水中硬化形被覆の対策工法選定フロー(案)

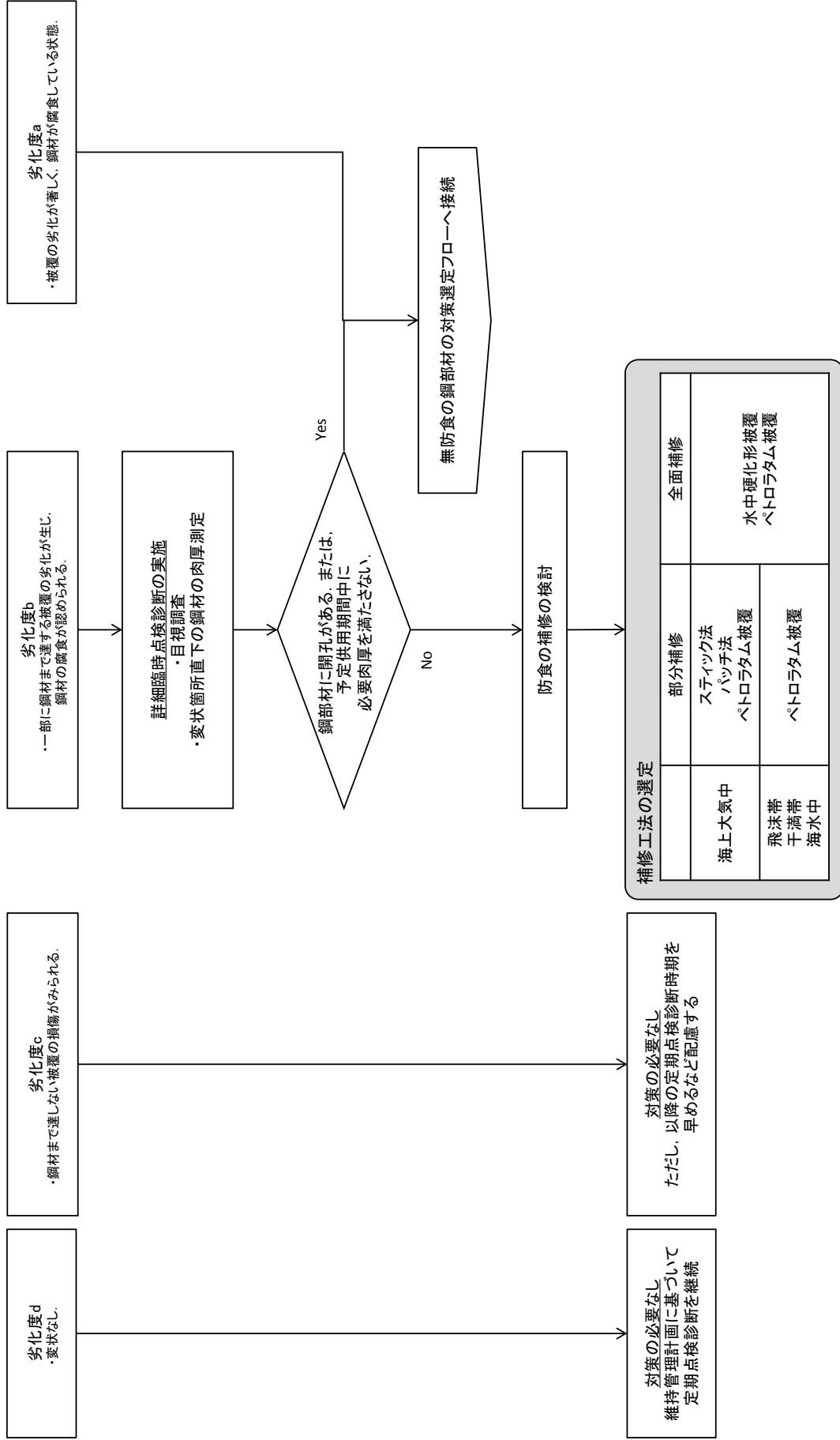


図-2.2.3 重防食被覆（ポリエチレン被覆）の対策工法選定フロー（案）

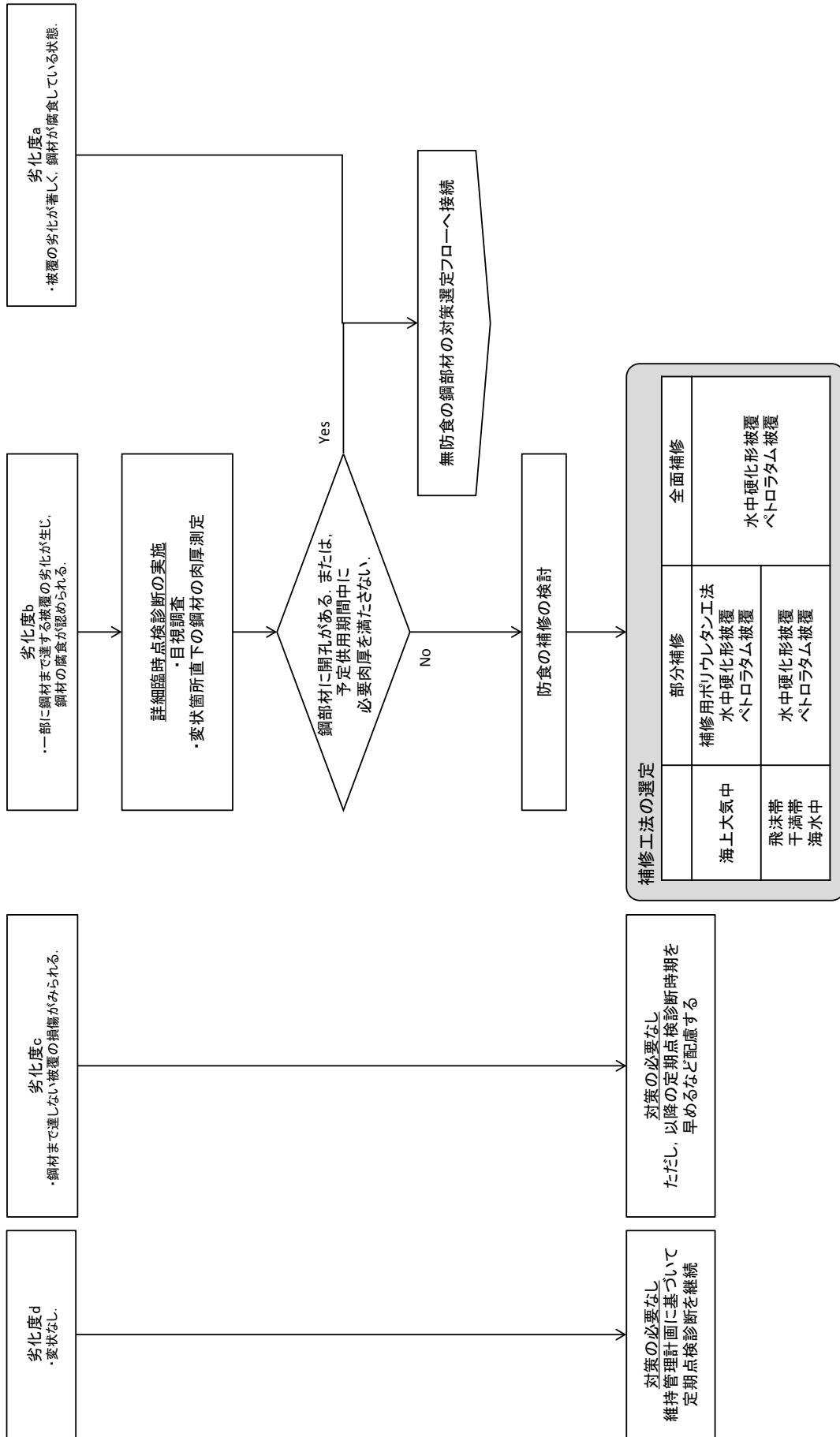


図-2.2.4 重防食被覆（ウレタンエラストマー被覆）の対策工法選定フロー（案）

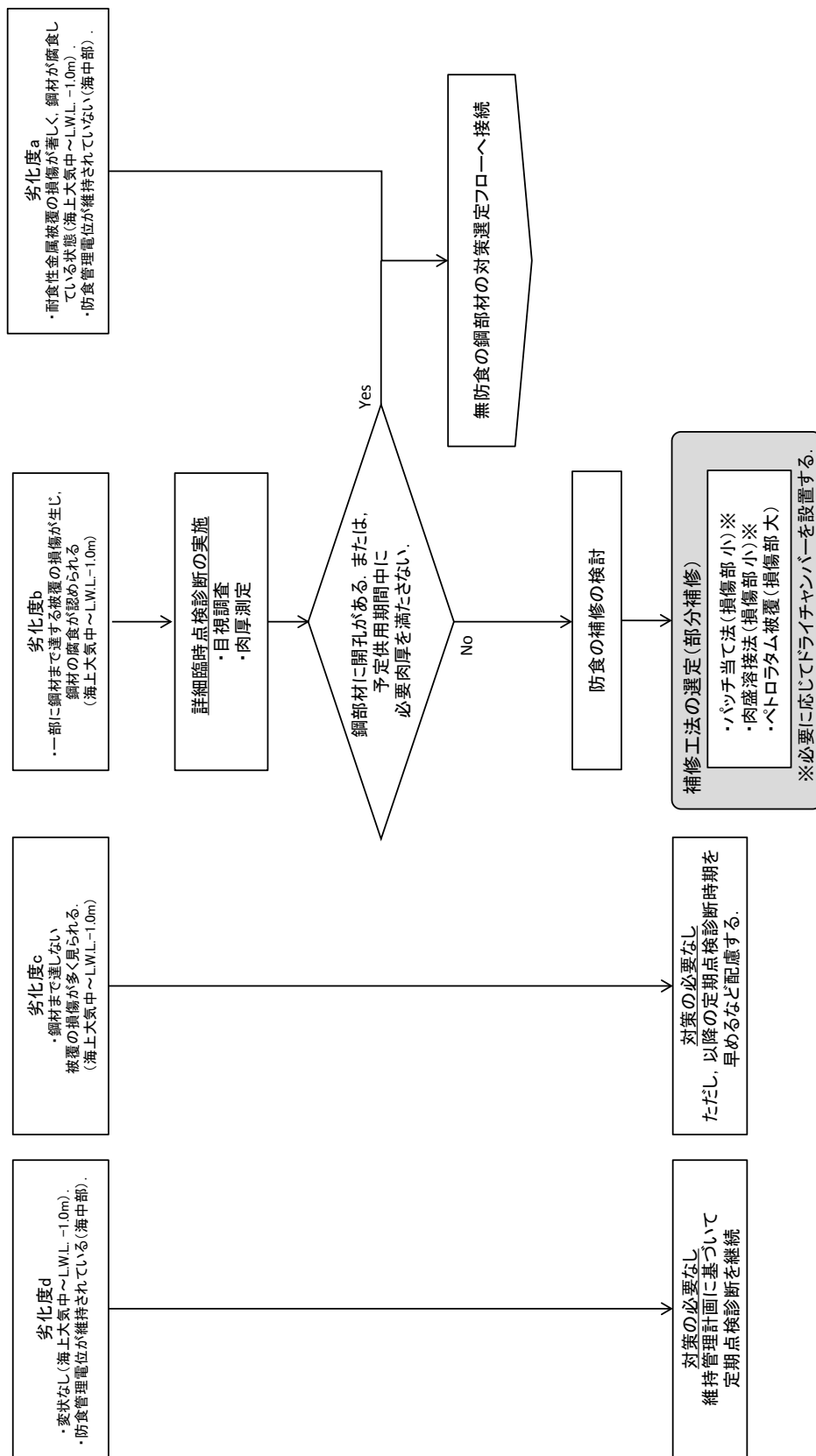


図-2.2.5 耐食性金属被覆の対策工法選定フロー(案)

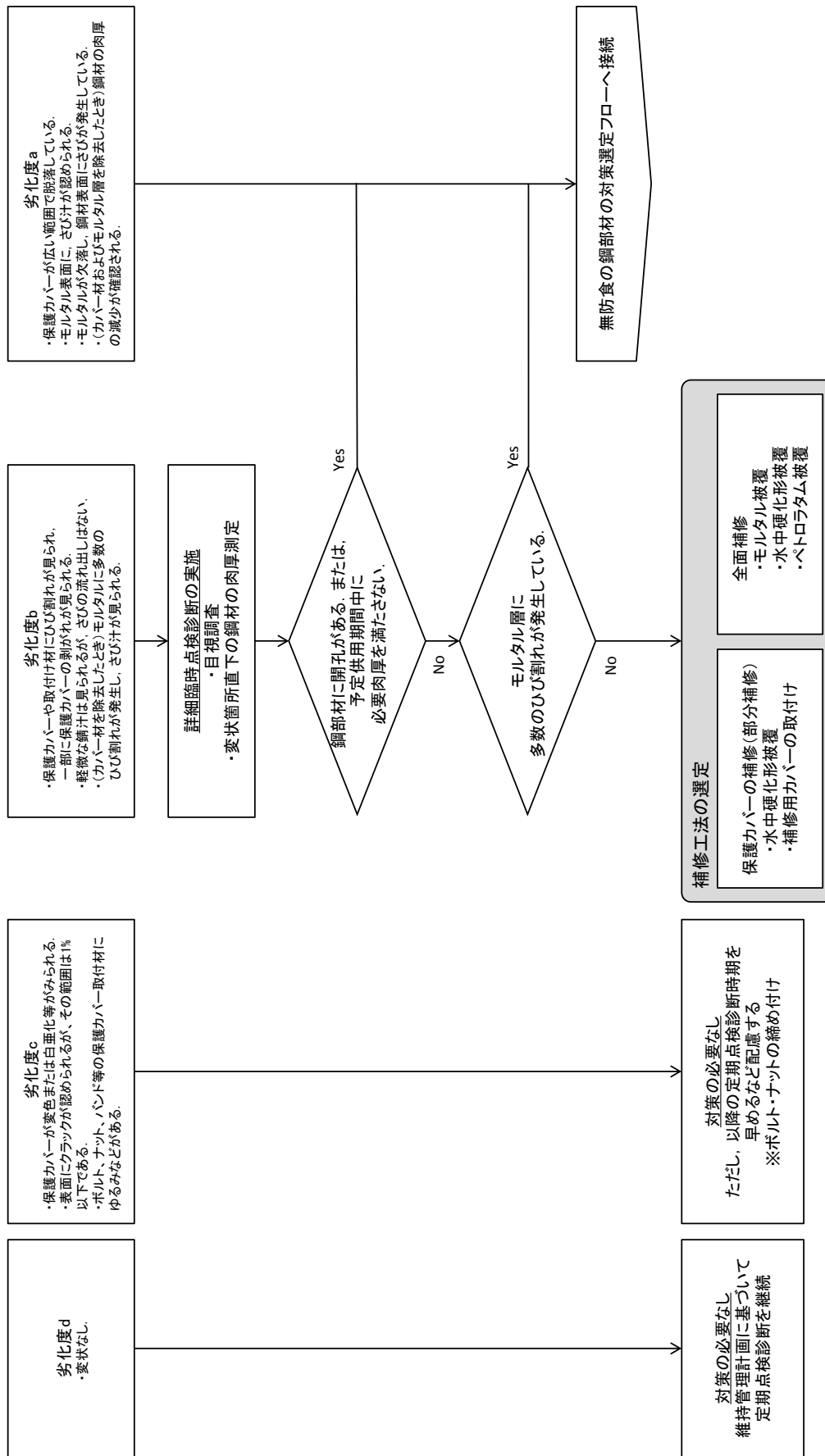


図-2.2.6 モルタル被覆の対策工法選定フロー(案)

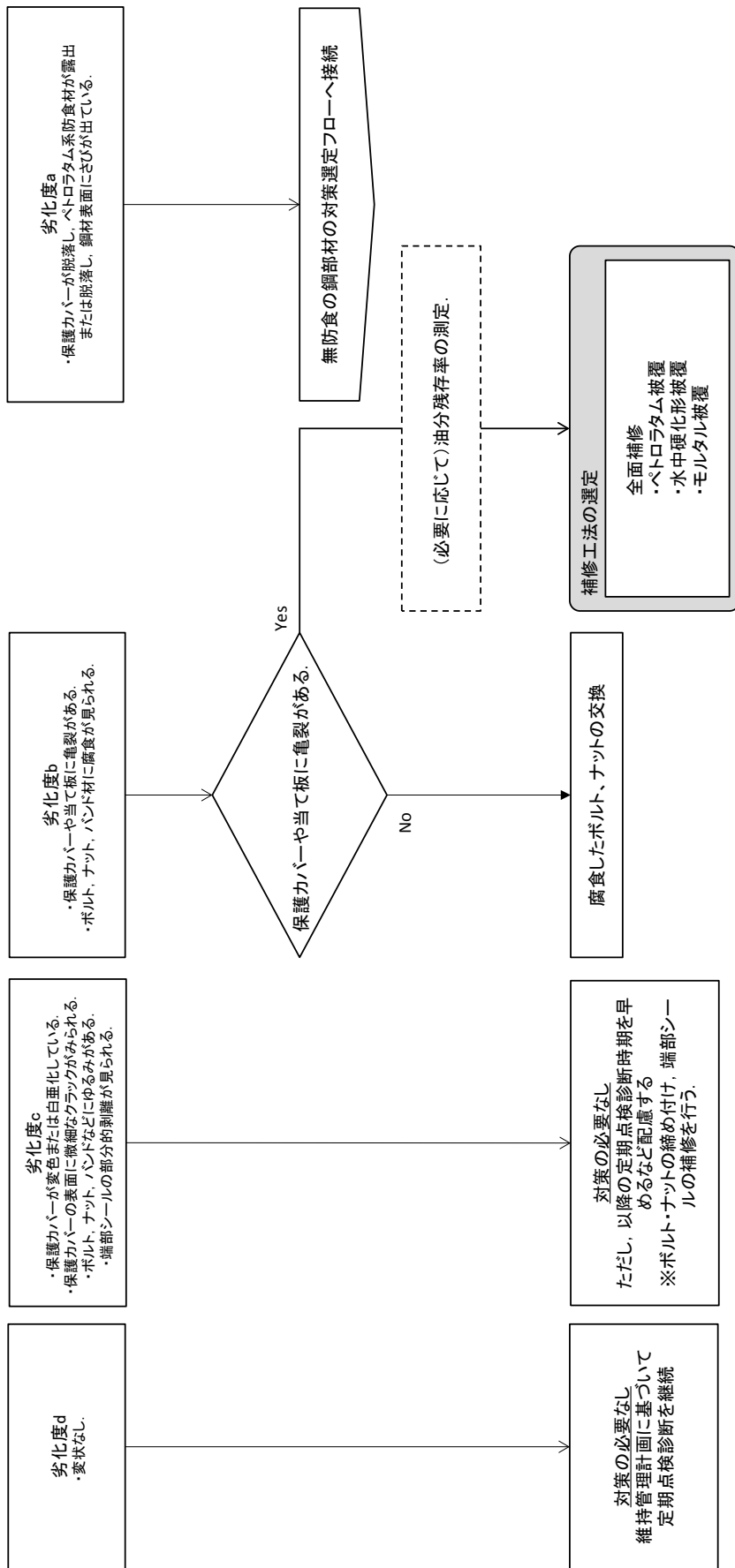


図-2.2.7 ペトロラタム被覆の対策工法選定フロー(案)

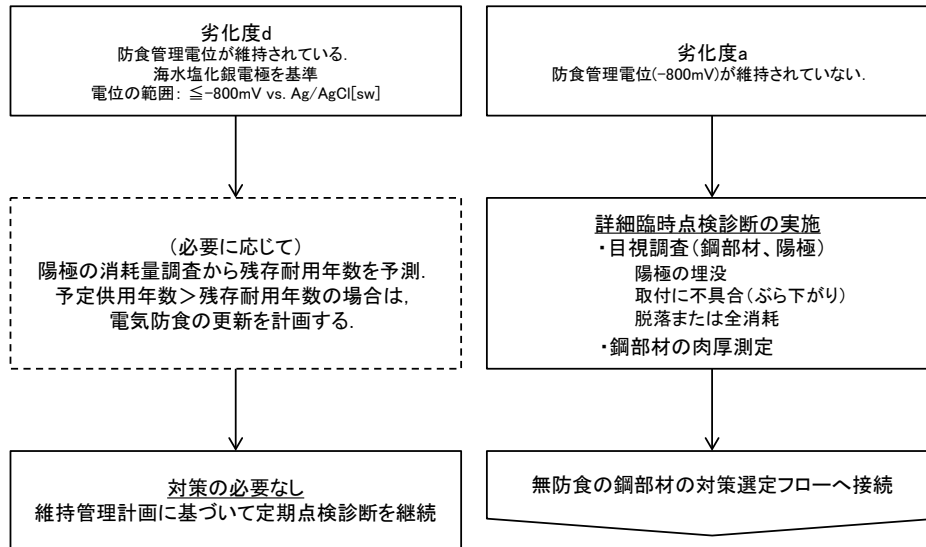


図-2.2.8 電気防食工の対策選定フロー(案)

た場合、継手部の一部が無防食状態となっているため、重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.2 に塗装、超厚膜形被覆、水中硬化形被覆の対策工法選定フローを示す。

これら3種の被覆防食工法については、初期状態とほとんど変化がない場合や、欠損面積率が0.03%未満の場合、劣化度dと判定される。この場合、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続することとなる。

さびや膨れ、または塗膜のはがれや割れが点在しており、被覆防食の欠損面積率が0.03%以上0.3%未満の場合、劣化度cと判定される。この場合、早急に対策を計画する必要はないが、今後、急激に変状が進展することのないよう、以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる。

大きなさび、膨れまたは割れがあり、さびを伴うはがれが広い範囲に発生しており、被覆防食の欠損面積率が0.3%以上10%未満の場合、劣化度bと判定される。この場合、防食機能を損なうほどの変状が発生しているとみなせるため、詳細臨時点検診断を実施する。詳細臨時点検診断では、被覆防食について詳細に目視調査を実施するほか、変状発生箇所直下の鋼部材の肉厚測定を実施する。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が発生しておらず、予定供用期間中の必要肉厚が確保される場合は、被覆防食についてのみ対策を実施する。このとき、部分補修を行うか、全面補修を行うかで対策工法が分けられ

ることに加えて、海上大気中と飛沫帯以下（飛沫帯、干満帯、海水中）に分けて対策工法を検討する。なお、本資料では、全面補修は被覆防食の再施工を、それ以外の部分的な補修については部分補修として取り扱うこととする。

塗装および超厚膜形被覆では、海上大気中における部分補修としては、一般に、既設の被覆系と同じものが適用されることが多い。飛沫帯以下の部分補修については、塗装あるいは超厚膜形被覆の適用は困難であることから、一般に水中硬化形被覆が適用される。全面補修の場合は、水中硬化形被覆やペトロラタム被覆が適用される。

水中硬化形被覆の補修では環境による区別はない。部分補修の場合は水中硬化形被覆を、全面補修の場合は水中硬化形被覆やペトロラタム被覆が適用される。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が認められたり、予定供用期間中の必要肉厚が確保されない場合は、図-2.2.1 に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローを参照しなければならない。

劣化度aの場合、外観から被覆防食の防食機能が損なわれていることが判断されるため、直ちに図-2.2.1 に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

b) 重防食被覆（ポリエチレン被覆）

重防食被覆（ポリエチレン被覆）において劣化・損傷が発生しやすい箇所としては、被覆の端部（上端、下端）が挙げられる。また、鋼矢板、鋼管矢板の場合、継手部が挙げられる^{13), 14)}。継手部については、継手部の一部が

無防食状態となっているため、重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.3に、重防食被覆（ポリエチレン被覆）の対策工法選定フローを示す。

劣化度dの場合、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続することとなる。

鋼部材まで達していない程度の皮膜の損傷が見られる場合、劣化度cと判定される。この場合、早急に対策を計画する必要はないが、今後、急激に変状が進展することのないよう、以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる。

一部に鋼材まで達する皮膜の劣化・損傷が生じている場合や、その箇所鋼材に腐食の発生が認められる場合は、劣化度bと判定される。防食機能を損なうほどの変状が発生しているとみなせるため、詳細臨時点検診断を実施する。詳細臨時点検診断では、被覆防食について詳細に目視調査を実施するほか、変状発生箇所直下の鋼部材の肉厚測定を実施する。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が発生しておらず、予定供用期間中の必要肉厚が確保される場合は、被覆防食についてのみ対策を実施する。このとき、部分補修と全面補修で対策工法が分けられることに加えて、海上大気中と飛沫帯以下（飛沫帯、干満帯、海水中）に分けて対策工法を検討する。

海上大気中における部分補修工法として、一般に、スティック法やパッチ法が適用される。また、全ての環境区分の部分補修工法として、ペトロラタム被覆が適用できる。なお、部分補修として水中硬化形被覆が適用されるケースもあるが、ポリエチレン被覆との付着が確保されない場合がある¹⁵⁾。このため、安全側の判断として、図-2.2.3の補修工法選定フローから削除した。

全面補修の場合は、水中硬化形被覆やペトロラタム被覆が適用される。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が認められたり、予定供用期間中の必要肉厚が確保されない場合は、図-2.2.1に示した無防食の鋼部材の対策選定フローを参照しなければならない。

劣化度aの場合、外観から被覆防食の防食機能が損なわれていることが判断されるため、直ちに図-2.2.1に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

c) 重防食被覆（ウレタンエラストマー）

重防食被覆（ウレタンエラストマー）において劣化・損傷が発生しやすい箇所として、被覆の端部（上端、下端）が挙げられる。また、鋼矢板、鋼管矢板の場合、継

手部が挙げられる^{15)、16)}。継手部については、一部が無防食状態となっているため、重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.4に重防食被覆（ウレタンエラストマー被覆）の対策工法選定フローを示す。劣化度に応じた対策は、劣化度d, c, a時については、ウレタンエラストマー被覆とb)ポリエチレン被覆とで大きな違いはない。両者では、劣化度b判定時の被覆防食の対策工法が異なる。

海上大気中におけるウレタンエラストマー被覆の部分補修工法として補修用ポリウレタン工法がある。水中硬化形被覆やペトロラタム被覆は、環境区分および部分補修、全面補修を問わず適用できる。

なお、劣化度b判定後の詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が認められたり、予定供用期間中の必要肉厚が確保されない場合は、図-2.2.1に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローを参照しなければならない。

d) 耐食性金属被覆

耐食性金属被覆において劣化・損傷が発生しやすい箇所として、被覆の端部（上端）、格点部、溶接部が挙げられる¹⁷⁾。これらの箇所を重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.5に、耐食性金属被覆の対策工法選定フローを示す。

耐食性金属被覆の一般定期点検診断では、目視による劣化度判定と電気防食の電位測定を行う。ここでは、主として、目視による劣化度判定による対策工法の選定について述べる。電気防食の対策の選定については、後述する2.2.3と同様である。

劣化度dの場合、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続することとなる。

被覆表面に鋼材まで達しない損傷が見られる場合、劣化度cと判定される。この場合、早急に対策を計画する必要はないが、今後、急激に変状が進展することのないよう、以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる。

一部に鋼材まで達する被覆の損傷が生じている場合や、その箇所鋼材に腐食の発生が認められる場合は、劣化度bと判定される。防食機能を損なうほどの変状が発生しているとみなせるため、詳細臨時点検診断を実施する。詳細臨時点検診断では、変状が生じた箇所の被覆防食について詳細に目視調査を実施するほか、変状発生箇所直下の鋼部材の肉厚測定を実施する。なお、耐食性金属被覆が適切に施工され、かつ電気防食が適切に施工されている場合、M.L.W.L.以下の耐食性金属被覆が損傷したとしても電気防食による防食効果が維持されているため、

直ちに対策を実施する必要はない¹⁸⁾。

詳細臨時点検診断の結果、予定供用期間中の必要肉厚が確保される場合、耐食性金属被覆の部分補修を実施する。補修範囲が小さい場合は肉盛溶接法またはパッチ当て法を、補修範囲が大きい場合はペトロラタム被覆が適用される。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が認められたり、予定供用期間中の必要肉厚が確保されない場合は、**図-2.2.1** に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローを参照しなければならない。

劣化度 a の場合、外観から被覆防食の防食機能が損なわれていることが判断されるため、直ちに**図-2.2.1** に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

e) モルタル被覆

モルタル被覆は、鋼矢板、鋼管矢板の継手部まで被覆されるのが一般的であるため、継手部は弱点部とならない場合が多い。このため、モルタル被覆において劣化・損傷が発生しやすい箇所としては、被覆の端部（上端）が挙げられ¹⁹⁾、重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.6 に、モルタル被覆の対策工法選定フローを示す。

劣化度 d の場合、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続することとなる。保護カバーに軽微な劣化（変色や白亜化）や、表面に範囲 1%以下のクラックが見られたり、ボルト・ナット・バンド等の保護カバー取付け材に緩みが見られる場合、劣化度 c と判定される。この場合、早急に対策を計画する必要はないが、今後、急激に変状が進展することのないよう、以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる。点検時には、保護カバーのボルト・ナットの締め付けを行うとよい。

保護カバーや取付け材にひび割れが見られたり、保護カバーの一部に剥がれが見られる場合、劣化度 b と判定される。また、カバーを除去した際に、モルタル層に多数のひび割れが発生し、さび汁が見られる場合も同様である。この場合、防食機能を損なうほどの変状が発生しているとみなせるため、詳細臨時点検診断を実施する。詳細臨時点検診断では、変状が生じた箇所の被覆防食について詳細に目視調査を実施するほか、変状発生箇所直下の鋼部材の肉厚測定を実施する。また、モルタル層全体についてもカバーを除去しひび割れが存在するかを確認することが望ましい。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が発生しておらず、予定供用期間中の必要肉厚が確保される場合、ま

たモルタル層に多数のひび割れが見られない場合については、被覆防食の部分補修または全面補修を実施する。

気中部で補修範囲が小さい場合、変状が見られた箇所を中心にカバー材とモルタル層を除去し、鋼材表面を清掃した後に無収縮モルタルなどによって断面修復を行い、カバー材を復旧する。カバー材がヒューム管などの二次製品の場合には、カバー材も含めて断面修復を行う。保護カバーの部分補修としては、水中硬化形被覆、補修用カバーの取付け等が適用される。

なお、モルタル被覆が適切に施工され、かつ電気防食が適切に施工されている場合、M.S.L.（平均潮位）以下では鋼部材の腐食はほとんど進行しないと考えてよい²⁰⁾。このため、M.S.L.以下のモルタル被覆に軽微な劣化・損傷が確認された場合には、その部分にカバー材を取付けて耐久性を確保するなどの対策が取られることもある。

全面補修の場合には、既存のモルタル層を撤去して、新たにモルタル被覆を行うか、水中硬化形被覆、ペトロラタム被覆を適用する。

詳細臨時点検診断の結果、鋼部材に開孔が認められたり、予定供用期間中の必要肉厚が確保されない場合は、**図-2.2.1** に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローを参照しなければならない。

劣化度 a の場合、外観から被覆防食の防食機能が損なわれていることが判断されるため、直ちに**図-2.2.1** に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

f) ペトロラタム被覆

ペトロラタム被覆において劣化・損傷が発生しやすい箇所として、被覆上端部シール材、保護カバー、締結材（ボルト・ナット）、下端金具、下端部シール材が挙げられる。また、鋼矢板や鋼管矢板の場合、防食キャップ（炭素鋼製のボルトの保護用）が挙げられる²¹⁾。これらの箇所を重点的に点検診断する必要がある。

図-2.2.7 に、ペトロラタム被覆の対策工法選定フローを示す。

劣化度 d の場合、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続する。

端部シールに変状（脱落、割れ、腐食など）が見られる、保護カバーに軽微な劣化（変色や白亜化）や、表面に範囲 1%以下のクラックが見られる、ボルト・ナット・バンド等の保護カバー取付け材に緩みが見られる等の場合、劣化度 c と判定される。この場合、早急に対策を計画する必要はないが、今後、急激に変状が進展することのないよう、以降の定期点検診断時期を早めるなどの配慮が望まれる。点検時には、保護カバーのボルト・ナッ

トの締め付けを行い、端部シールについても併せて補修するとよい。

保護カバーや当て板に亀裂等の変状が見られたり、ボルト・ナットの腐食が確認される場合、劣化度 b と判定される。ボルト・ナットの腐食が確認された場合は、対策としてそれらの交換を行う。それ以外の場合については、ペトロラタム被覆をペトロラタム被覆にて全面補修することを原則とする。これは、ペトロラタム被覆は、ペトロラタム系防食材ほかカバー材等一式で防食システムとして機能するものであること、部分補修した場合は既設箇所と部分補修箇所の防食機能に差異が生じる可能性があることから補修後の維持管理に不便が生じることによる。また、水中硬化形被覆、モルタル被覆を全面補修として適用することも可能であるが、鋼表面にペトロラタム系防食材が強固に付着していることから、表面処理に手間がかかることに留意しなければならない。

全面補修の際、必要に応じて、ペトロラタム系防食材の油分残存率を確認する。「港湾鋼構造物の防食・補修マニュアル」によれば、「防食材の性能劣化の可否の判定」について、「目安として 80%以上を可とする。」との記載がある²²⁾。つまり、油分残存率 80%以上であれば、ペトロラタム系防食材の防食機能は維持されていると判断してもよいといえる。なお、ペトロラタム系防食材の油分減少による防食機能の低下は、干満帯や海中中部と比較して飛沫帯で進行しやすいとの報告がある²³⁾。

保護カバーが損傷しペトロラタム系防食材が露出あるいは脱落している場合や、鋼材のさびが見られる場合は、劣化度 a と判定される。この場合、外観から被覆防食の防食機能が損なわれていることが判断されるため、直ちに図-2.2.1 に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

2.2.3 電気防食

図-2.2.8 に、電気防食の対策工法選定フローを示す。

電気防食では、一般定期点検診断において測定される防食電位を基準として対策を選定する。

海水塩化銀電極を基準として防食管理電位 -800mV より卑な電位（低い値）を示している場合は、対策を計画する必要はなく、維持管理計画に基づいた定期点検診断を継続する。このとき、陽極の消耗量調査に基づいて陽極の残存耐用年数を予測することにより、適切な陽極交換時期を設定することができる。

防食管理電位 -800mV が維持されていない場合、防食機能が失われていると判断されることから、詳細臨時点検診断を実施しなければならない。詳細臨時点検診断で

は、潜水士による陽極の目視調査や鋼部材の肉厚測定を実施する。潜水士による目視調査では、陽極の埋没、陽極の取付け状況（ぶら下がり等）、陽極の脱落または全消耗を確認する。また、いずれの不具合が見つかった場合においても、直ちに図-2.2.1 に示した無防食の鋼部材の対策工法選定フローに移行しなければならない。

3. まとめ

本資料では、港湾鋼構造物の防食実務に関する技術資料を予防保全的な観点から体系的に取りまとめ、無防食の鋼部材、被覆防食（塗装・超厚膜形被覆・水中硬化形被覆、重防食被覆（ポリエチレン被覆）、重防食被覆（ウレタンエラストマー被覆）、耐食性金属被覆、モルタル被覆、ペトロラタム被覆、および流電陽極方式の電気防食について、劣化度判定に応じた対策工法選定フローを提案した。また、各種防食工法の対策工法選定にあたっての留意点をとりまとめた。

4. おわりに

本資料は、維持管理計画の策定や、定期的点検診断結果を踏まえた対策工法の選定、工事概数の検討等、施設設置者ならびに施設管理者が担う維持管業務を補助することを目的としたものである。実際に、鋼部材および各種防食工の対策を実行するにあたっては、対象とする個々の部材や防食工について、補修設計のための詳細調査を実施する必要がある。また、適用される対策の施工条件、施工費用、予定供用期間中に対策効果を維持するための費用等について、十分に検討しなければならない。さらに、特に被覆防食工法については、その種類が多様多様であり、劣化のメカニズムが判明していないものもある。本資料で提案する対策工法選定フローは、各種被覆防食工法に適用される一般的な対策を示すものであるが、実際に対策を選定・実施する際には、専門技術者の判断が必要であることを付記する。

(2017年4月25日受付)

謝 辞

本資料の取りまとめにあたりご協力頂いた防食・補修工法研究会 阿部正美 技術アドバイザー、同研究会 各分科会ならびに関係各位に心より感謝申し上げます。

本検討の実施にあたっては、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所に多大なるご支援をいただいた。また、本検討の一部は、内閣府総合科学技術・

イノベーション会議「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人：JST)によって実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上)，p.51，2007.
- 2) 日経BP社：鋼管杭の腐食で栈橋沈下，日経コンストラクション 2/8号，p.18，2016.
- 3) 斉藤真樹，飯田誠：北海道における国有港湾施設の現状と維持管理上の課題，第59回(平成27年度)北海道開発技術研究発表会，<http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/gijyutu/giken/ronbun/IK-21.pdf>，2015.
- 4) 港湾空港技術研究所編著：港湾の施設の維持管理技術マニュアル，沿岸技術ライブラリーNo.26，沿岸技術研究センター，p.152，2007.
- 5) 国土交通省港湾局：港湾の施設の点検診断ガイドライン，2014.
- 6) 国土交通省港湾局：港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン，2015.
- 7) 文献6，【第1部 総論】，pp.70-77.
- 8) 沿岸技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(2009年版)，沿岸技術ライブラリーNo.35，2009.
- 9) 防食・補修工法研究会：港湾鋼構造物 新しい防食工法・補修工法・維持管理 実務ハンドブック 設計・施工編(2013年度版)，2013.
- 10) 防食・補修工法研究会：港湾鋼構造物 新しい防食工法・補修工法・維持管理 実務ハンドブック 維持管理編(2013年度版)，2013.
- 11) 文献8，p.27.
- 12) 文献8，p.79.
- 13) 文献10，pp.6.3-11-12.
- 14) 原田佳幸，阿部正美，福手勤，浜田秀則，是永正，江田和彦，岩倉肇，元木卓也，佐藤一昌：重防食鋼矢板における被覆材の接着耐久性に関する研究，港湾空港技術研究所資料 No.984，2001.
- 15) 山路徹，与那嶺一秀，審良善和，阿部正美，原田典佳，田中隆太，角野隆，香田一哉，金杉賢，後藤宏明，松田英樹，江口宏幸，松井良典，岸慶一郎，久保田一男，永尾直也，星野雅彦，川瀬義行，小泉文人，小林裕，増田和広，吉川幸雄，中村聡志：長期海洋暴露試験に基づく鋼管杭の防食工法の耐久性評価に関する研究(30年経過時の報告)，港湾空港技術研究所資料 No.1324，pp.44，2016.
- 16) 審良善和，山路徹，岩波光保，原田典佳，吉崎信樹，村瀬正次，斎藤勲，上村隆之，北村卓也：重防食被覆を適用したハット形鋼矢板の耐久性に関する基礎的研究，港湾空港技術研究所資料 No.1230，2011.
- 17) 文献10，pp.6.4-11-12.
- 18) 文献10，p.6.4-18.
- 19) 文献10，pp.6.7-6-7.
- 20) 文献8，pp.257.
- 21) 文献10，pp.6.5-1-11.
- 22) 文献8，pp.249.
- 23) 星野雅彦，松本幸大，福本昌宏：港湾環境に長期間曝露されたペトロラタム系防食材の劣化機構の評価，材料と環境，No.66，pp.31-40，2017.

港湾空港技術研究所資料 No.1336

2017.9

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2017) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術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、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術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。