

# 港湾施設の維持補修に関する新しい技術の動向調査

A review on the Trend of New Technologies and Materials for the Maintenance of Port Structures

禮田英一\*・深海正彦\*\*

REITA Eiichi and FUKAMI Masahiko

\* (財) 沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員

\*\* (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼企画部長

The present paper deals with the new technologies and materials for the maintenance of port structures, which is recently developed and used practically. This review will make us understand and grasp easily the new technologies and materials when utilizing those to maintain existing port structures.

Key Words : port structures, maintenance, new technologies and materials

## 1. はじめに

現在、各地方整備局では、港湾施設の健全度点検・評価が実施されているところであるが、それにより港湾施設としての機能が不十分で今後の機能回復や延命化が必要と判断される場合、当該施設に対し早急に措置を講じる必要があると思料される。また、そのような措置の実施に当たっては、港湾施設の安全性・使用性の向上やライフサイクルコストの低減を図る必要がある。このような状況から、本稿では、港湾施設の機能に合わせた適切な維持補修技術の選定を行うことを目的に、港湾施設の維持補修に関する最新の主要な技術（以下、「新技術」という。）の把握のための調査検討の結果をまとめた。

## 2. 各種施設の劣化機構の整理と対策工法

主な港湾施設には、基本施設としてケーソン式防波堤、ケーソン式係船岸、棧橋、矢板式係船岸及び付帯設備（エプロン、防舷材、係船柱）などの各施設が挙げられるが、これらは概ねコンクリート構造物又は鋼構造物であり、各施設の損傷の状況から具体的に可能な維持補修方法を考えていく場合においては、最終的には、コンクリート構造物又は鋼構造物の維持補修技術に帰着されることが殆どである。このようなことから、各施設ごとにその劣化状況を検討するのではなく、コンクリート又は鋼の構造物の劣化特性から、それへの対処方策としての「新技術」を考えることとした。なお、上記の趣旨を示す例として、矢板式係船岸の主な変状を図-1<sup>1)</sup>に、変状に対応する維持補修技術の技術区分を図-2<sup>2)</sup>に示す。

また、上記のような港湾構造物の部分的な劣化の変状以外に、全体的な変状の主なものとしては、防波堤や係船岸などの施設全体の沈下や傾斜、ケーソンの裏埋材の吸出しや圧密沈下、防舷材のひび割れ劣化、エプロンの沈下・陥没、などが挙げられる<sup>1)</sup>。

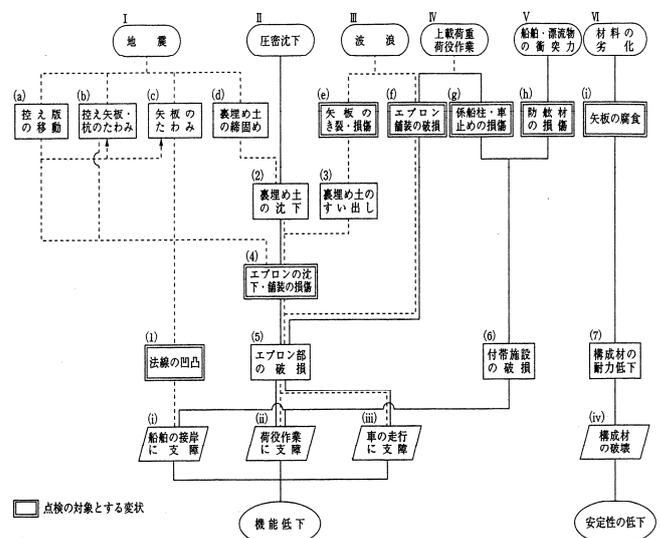


図-1 矢板式係船岸の主要な変状連鎖図

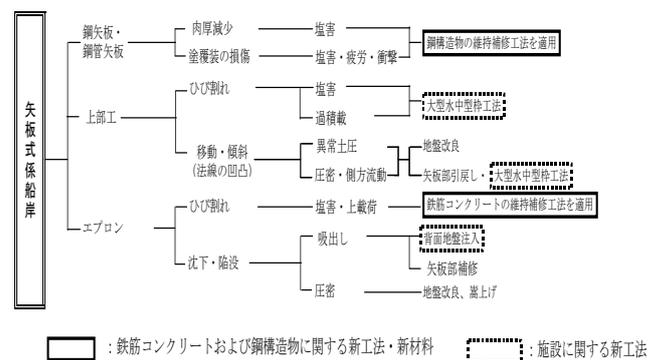


図-2 矢板式係船岸の維持補修技術に関する系統図

### 2.1 コンクリート構造物の主な劣化特性<sup>1), 2), 3)</sup>

港湾コンクリート構造物は、海洋環境に位置するため、陸上構造物に比べて、過酷な気象・海象に曝され、海水の物理的・化学的作用を受け経年的に劣化が進行してい

く。コンクリート構造物の主な劣化原因は、アルカリ骨材、中性化、凍害などもあるが、やはり上記環境下での支配的要因は塩害であるため、今回の検討でも塩害対策を主とした。この塩害による劣化では、構造物において、コンクリート中への塩化物イオンの浸透（物理的なひび割れも含む）を契機に、コンクリート内部の鋼材腐食、腐食鋼材の膨張等に伴うコンクリートの剥離、剥落、更なるひび割れなどの発生が主な劣化過程である。

## 2.2 鋼構造物の主な劣化特性<sup>4),5),6)</sup>

港湾鋼構造物は、海面に接し常に潮位変動や波しぶきの影響を受ける過酷な環境に曝されているため、一般の陸上構造物とは異なり塗覆装や電気防食等の防食工が施されている。特に潮位の変動部分で、海面が上下する部分などは、防食工を施しても腐食が進行しやすい。実際には、塗装に対しては、内部腐食による錆、膨れ、割れなど、またライニング（覆装）に対しては錆はもとより剥離、亀裂、変形、脱落などの症状が見られる。

## 3. 新技術の抽出・整理方法

### 3.1 定義及び調査対象

今回行った調査での港湾施設に対する維持補修の「新技術」とは、「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル（改訂版）」（財）沿岸開発技術研究センター、平成11年6月）、及び「港湾構造物の維持・補修マニュアル」（財）沿岸開発技術研究センター、平成6年4月）の出版後に公表され実用化に至った（理論・概念だけではない）、若しくは従来技術ではあるが出版後に改良された維持・補修に関する技術（材料・工法）、沿岸技術研究センターが実施している「港湾関連民間技術の確認審査・評価」事業の過去対象技術、と定義し調査対象を絞った。ただし本調査は、現存する当該「新技術」を広く広く調査したのではなく、調査可能なものから着手しまとめたものである。

### 3.2 抽出整理方法

本調査では、3.1の定義に基づいた「新技術」に関し、アンケート及びヒアリングを25社に依頼し、132件抽出するとともに、国土交通省の技術検索システムNETISからは2,179件を検索し65件抽出し、そのほか、関連する3協会、1財団法人、コンクリート工学協会年次講演会（2003, 04年）土木学会年次講演会（2003, 04年）などから技術を抽出した。当該抽出に当たっては、個別工法ごとに、『工法概要』、『適用条件・範囲』、『経済性』等の項目を有する調査票を作成し、定義に該当すると思われるものを絞り込んだ。また、絞り込んだ「新技術」について、港湾構造物の維持保守の分野の専門識者の見解を参考・尊重した（図-3参照）。

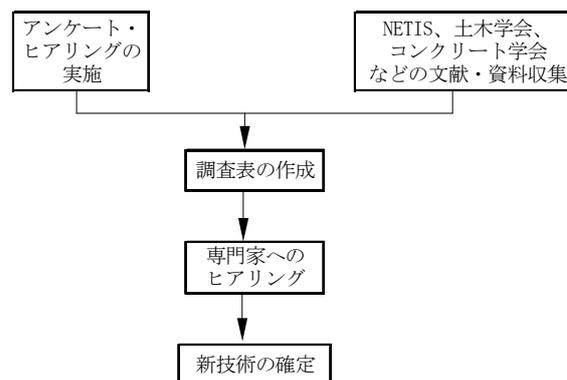


図-3 維持補修関係新技術の抽出フロー

## 4. 維持補修に関する新技術の動向

### 4.1 鉄筋コンクリート構造物に関する新技術<sup>7)</sup>

ひび割れ、大・小欠損等鉄筋コンクリート構造物の劣化に対応するための工法としては、ひび割れ補修工法、大・小欠損等への断面修復工法、補修後の予防を前提とした電気防食工法さらに塩素イオンの浸入等を押さえる表面被覆工法（被覆・補修材）などがあるが、これらの中では、ひび割れ補修のための低圧注入工法や断面修復工法では埋設型棒工法（FRP）、ウォータージェット工法などの新技術が注目される場所である。補修材等では表面被覆材には、内部を乾燥させる効果があるものや水中での硬化時間が短いものなどが注目される。

防錆剤では、塩素イオン吸着効果のあるものや鉄筋への特殊な酸化被膜を発生させるもの、鉄より高イオン化傾向を持つ金属の混入、塩素イオン浸透防止効果がある物質の混入など様々なものが新技術として普及しつつある。さらに、電気防食工法では、パネル陽極方式、チタン溶射方式、チタンリボンメッシュ方式、チタントレイ方式、チタンロッド方式などで新しいものがある。図-4は、以上によって検討した新技術の系統図である。

### 4.2 鋼構造物に関する新技術

鋼構造物における補修工法の主流は、鋼材が酸化しにくい状況を構築するための塗覆装工法とそのための素材が新技術抽出の対象となる。その中で工法では水中施工ライニングやコンクリートライニングなど、また材料では、ステンレス被覆防食材やカドミウム無添加の新しい電気防食材などが新技術として挙げられよう。図-5に新技術の系統図を示す。

### 4.3 施設全体に関する新技術

施設全体についての工法についても、栈橋改修工法、大型水中型棒工法、吸出し防止工法、仮締切り工法など新しい施工技術が開発されているので、それらも、この新技術に含めることとした。

### 4.4 新技術の抽出結果

調査の結果、27種類の工法（新材料も含む）に絞り、表-1のような結果を得た。なお、この表は、各工法の特徴（適用条件、施工性、経済性等）を一定の条件の下、遍く公平に審議し選定を行ったものではなく、①沿岸技術研究センターの個別調査として認識しうる技術を母集団とし、②その中で『新技術』の定義のもと、その条件に符合しないものを捨象した結果であり、現存する新技術であっても今回、挙げられなかったものも十分にあり得る旨お断りさせて頂く。また、表中の工法名、商品名は、上記のような経緯から今回は記載していない。

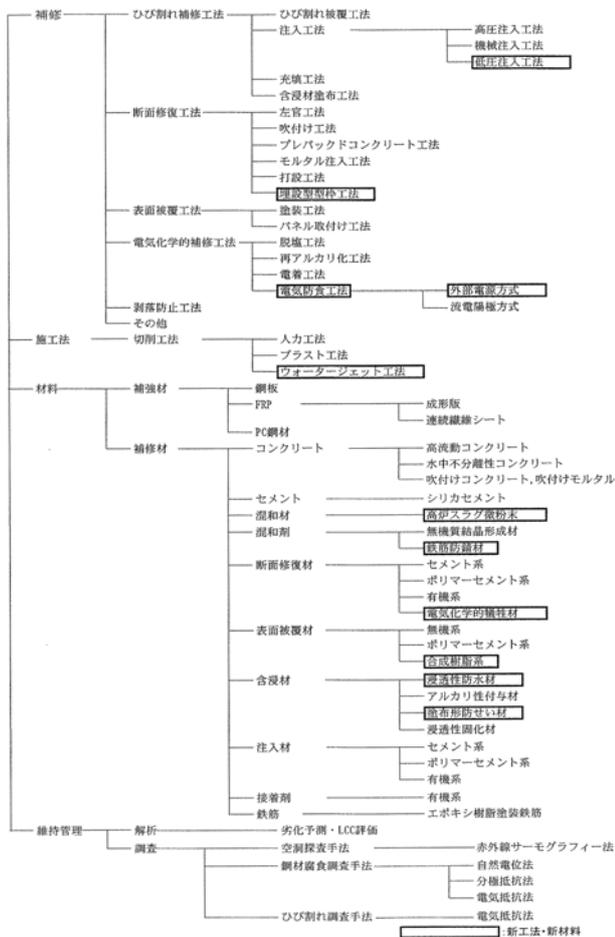


図-4 鉄筋コンクリート構造物の維持補修技術に関する系統図<sup>7)</sup>

## 5. 考察

### 5.1 コスト削減と新技術

本稿は、九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所の依頼の下に港湾施設の維持補修に関する新技術の調査を行った結果の一部を、論文としてまとめたものである。社会基盤施設整備事業を取り巻く状況は厳しさを増しており、今後は、単なるコスト削減だけでなく性能規定

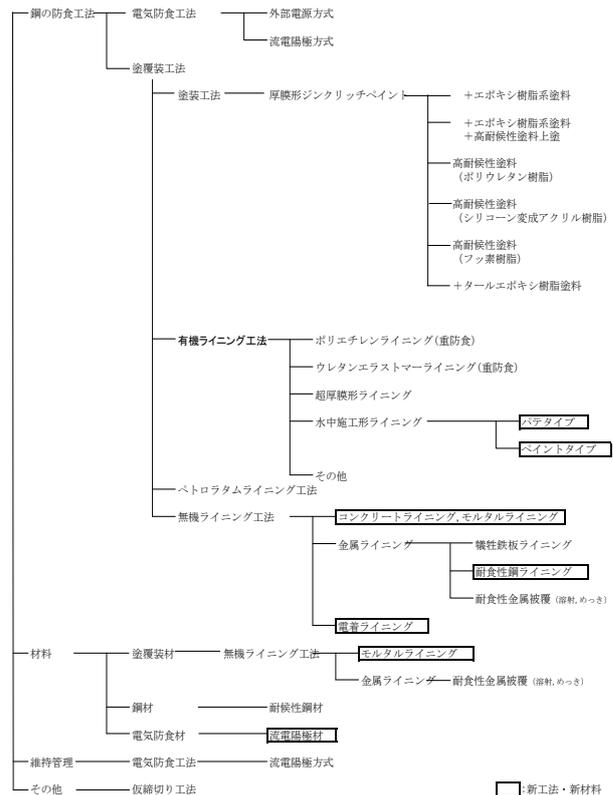


図-5 鋼構造物の維持補修技術に関する系統図<sup>4)</sup>

に基づく設計やライフサイクルコスト、更にはアセットマネジメントなど、機能を有する製品として新たな概念のもと、計画、設計、施工、維持管理及び運営を実施して行かねばならない状況にある。そして現場では、当該施設に求められる機能を低下させることなく、低コストで安全な施設を建設・維持することを常に求められている。そしてそれに応えうる方策の一つが、新技術である。したがって、厳しい環境下での社会基盤整備事業では、新技術の開発、普及、利用促進が重要性を帯びるものと考えられる。

今回の調査は、施設の整備・維持・管理を行う現場での新技術選定の一助を意図したものであり、「〇〇以降」という時期的な指標のもと、大まかな母集団から新技術の抽出を行ったが、抽出技術の内容面については概略的な記述に留まる部分が多い。このため調査結果の現場の維持管理業務への直接的な活用は困難かと思われる。実際は、各現場の施設ごとに、海水の塩分濃度の高低度合、台風来襲頻度、干満差と桁下端との関係などが異なり、それに伴い施設の劣化・変状や施工の難易度に差異が生じるため、これらの要素も考慮が必要である。そして、どの要素がどの施設にどの程度影響するかを検討し、適切な技術を抽出する必要がある。また、これらの結果を整理し現場の特徴に合わせた対処法の検討・選定のための最適技術選定フローの作成も検討に価すると思われる。

表 1 抽出した新材料・新工法の一覧表

種類	大・中区分	小区分	概要
栈橋係船岸	栈橋改修工法	取替え工法	A1工法：耐海水性に優れたステンレス鋼ライニングを用いたジャケット方式による栈橋改修工法
	"	"	A2工法：緩衝ゴム・感圧硬化ゴムの2種類のゴムからなる積層構造のゴム支承による支承部の高低差の調整工法
ケーソン式係船岸	大型水中型枠工法	水中型枠工法	A3工法：作業台船と大組パネルの組合せによるフローターを用いた水中型枠工法
各種係船岸	吸出し防止工法	裏込め注入工法	A4工法：高粘度可塑性グラウト材による空洞注入工法
	"	仮締切り工法	A5工法：工場生産で、浮力を利用して運搬および据付けが可能な小型鋼製函体による仮締切り工法
鉄筋コンクリート補修工法	ひび割れ補修工法	低圧注入工法	C1工法：ひび割れ幅0.5mm以下で、ゴムチューブの内部圧力でエポキシ樹脂を注入する工法
	断面修復工法	埋設型枠工法	C2工法：表面被覆材としてFRP（ガラス繊維）を埋設型枠材として用いた工法
	断面修復工法	ウエッジ工法	C3工法：ウエッジによるはつり工法と炭素繊維グリッド筋を補強筋または差替え筋として用いた工法
鉄筋コンクリート補修材	含浸材	塗布型防錆材	C4工法：亜硝酸カルシウム系の塩分イオン吸着剤でコンクリート中の塩化物イオンを吸着する防錆材
	"	"	C5工法：ケイ酸塩系の含浸材を鉄筋に塗布することでコンクリートのアルカリ性を付与する防錆材
	表面被覆材	浸透性防水材	C6工法：コンクリート内部からの水分は透過させ、外部からの水分の浸入を遮断するシラン系被覆材
	"（塗装）	合成樹脂	C7工法：膜厚2.5mmと超薄膜型で、超早硬化のポリウレタン系の被覆材
	"（塗装）	"	C8工法：界面活性剤と、硬化時間の短い塗布タイプの湿潤面硬化型エポキシ樹脂系の被覆剤
	"	"	C9工法：界面活性剤と、硬化時間の短い塗布タイプの水中硬化型エポキシ樹脂系の被覆剤
	断面修復材	電気化学的犠牲材	C10工法：特殊モルタルで包んだ亜鉛を鉄筋に設置し、犠牲陽極材とする断面修復材
	混和材	高粉末度高炉スラグ	C11工法：塩分遮断効果のある高炉スラグを高粉末にした混和材
	"	鉄筋防錆剤	C12工法：コンクリート中の過剰な塩化物イオンを吸着し、鉄筋防食効果のある亜硝酸イオンを放出する防錆材
	鉄筋コンクリート電気防食工法	外部電源方式	面状陽極
"		"	C14工法：高純度のチタンをアーク溶接でコンクリート表面に吹付け面状電極とする電気防食工法（チタン溶射方式）
外部電源方式		線状陽極	C15工法：リボン状のチタン陽極を鉄筋面に沿い設置することで線状電極とする電気防食工法（チタンリボンメッシュ方式）
"		"	C16工法：盆状のチタン板上に電極陽極を取付け、これをコンクリート表面に設置することで、線状電極とする電気防食工法（チタントレイ方式）
"		点状陽極	C17工法：点状の陽極をコンクリート中に設置することで、点状電極とする電気防食工法（チタンロッド方式）
鋼構造物	塗覆工法	水中施工形ライニング	M1工法：界面活性剤と、硬化時間の短い塗布タイプの水中硬化型エポキシ樹脂系の被覆剤
	無機ライニング	電着ライニング	M2工法：硬化時間の長いバテタイプの水中硬化型エポキシ樹脂系
	"	コンクリートライニング補助工法	M3工法：鋼材に高電圧・高電流密度を通電することで、海水中のマグネシウム、カルシウムを主成分とした石灰質電着被膜を析出付着する電着工法
	"	コンクリートライニング補助工法	M4工法：水中で溶接時に気中状態を作り出し、アークの熱エネルギーを利用して、鋼製の母材にボルト状のスタッドを溶接する方法で、オシログラフにより高度な品質管理をしたコンクリートライニングの補助工法
	"	コンクリートライニング補助工法	M5工法：水中で溶接時に気中状態を作り出し、アークの熱エネルギーを利用して、鋼製の母材にボルト状のスタッドを溶接する方法で、コンクリートライニングの補助工法
	"	耐食性金属被覆	M6工法：鋼管、鋼桁、鋼殻を耐海水性ステンレス鋼で覆い、ステンレス鋼を溶接することで気密化したライニング工法
	材料	コンクリートライニング	M7工法：粘性を高めるセルロース系混和剤と流動性を高める混和剤を添加した水中不分散性コンクリート
	"	電気防食材	M8工法：カドミウムが添加されない亜鉛合金陽極材

### 5.2 今後の新技術活用のためのシステム

社会基盤施設（公共物）の所有者、維持管理者の責任については、「瑕疵（通常有すべき安全性を欠いていること）」があつてはならない旨法律（国家賠償法第2条）に明示されており<sup>8)</sup>、一般の製品以上に厳しい取扱いである。

このような制約の中、社会基盤整備における低コスト・安全を約束する新技術についての責任も更に重く、今後は、何らかの公的な第三者評価機関による認定等が必要になってこよう。この認定は、単に当該機関が良い技術である旨推薦的に認めるだけでなく、当該技術に対してある程度の責任を負うものとしての制度であるべきで、このような機関の保障のもと、安心・安全かつ低コスト新技術による工法で、今後の社会基盤整備は行われるべきと考える。今回の調査ではNETISを一部に活用したが、このような公的な新技術公表・普及システムを、一歩進めて、掲載した新技術に対し内容保証的（性能、効果、コスト等）な責任を求めても良いと思う。

### 6. 謝辞

本論文の執筆に際し、九州地方整備局下関港湾空港技

術調査事務所には、貴重なデータの提供等多大なご協力を賜った。ここに記して感謝致します。

### 参考文献

- 1) (財) 沿岸開発技術研究センター：港湾構造物の維持・補修マニュアル，40p.，平成 11 年 6 月。
- 2) (財) 東京港埠頭公社：栈橋劣化調査補修マニュアル，35p.，平成 16 年 6 月。
- 3) (社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，1181p.，平成 11 年 4 月。
- 4) (財) 沿岸開発技術研究センター：港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル（改訂版），p130.，平成 9 年 4 月。
- 5) 鋼管杭協会：【鋼管杭・鋼管矢板・鋼矢板】防食ハンドブック-設計・施工・維持管理-，p2-1-2-39.，平成 10 年 3 月。
- 6) 防食補修工法研究会：港湾鋼構造物 調査診断・防食・補修工法 【実務ハンドブック】，p15.，平成 14 年 2 月。
- 7) (社) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針-2003-，p107.，2003 年 6 月。
- 8) 本城勇介ほか：国家賠償法 2 条と社会基盤施設の安全性に関する考察，土木学会構造工学論文集 vol151A，pp285-296，2005。

