

講義 5 : ライニング

新日本製鐵(株)

石田 雅己

鋼材の防食法は、①適正な材料選択、②腐食環境からの遮断、③腐食環境を制御、④電気化学的に制御、する方法に分類される。ライニングは、②の方法に分類され、鋼材面に各種の金属系・非金属系の被覆を施して腐食環境から鋼材を遮断する方法の一つであり、構造物の形状、環境別部位、施工条件に適合するために、多種類の防食材料・工法が開発され、実用に供されている。

ライニングといえは、慣習的に塗装（ペインティング、コーティング）とは区分されており、被覆の種類は樹脂・ゴムから無機質（モルタル、ガラス、ホーロー等）や金属と広範囲にわたるもので、概して厚膜で高い防食機能を有する被覆を総称している。ライニングによる防食は、各土木分野で適用されているが、ここでは海洋鋼構造物に適用される厚膜被覆防食としての各種ライニングについて述べる。海洋鋼構造物の防食に適用されるライニングは、有機ライニング、ペトロタムライニング、モルタルライニングおよび金属ライニングに大きく分類される。

【ライニングの種類と特徴】

有機ライニングは、熱可塑性・熱硬化性の有機樹脂やゴムを被覆する方法で、膜厚が 1.5～10mm と一般的には塗装の膜厚よりも厚く、防食性・耐衝撃性・耐摩耗性に優れているが、塗装と比較して、施工性・補修性・施工コスト等に難点がある。主な有機ライニングは、施工場所によって以下のように分類される。

- ・主に工場被覆：ポリエチレンライニング、ウレタンエラストマーライニング
- ・主に工場・現地ヤード施工：超厚膜形ライニング、ゴムライニング
- ・主に現地施工：水中施工形ライニング、FRPライニング、防食テープライニング

ペトロラタムライニングは、有機ライニングの一種であるが、施工実績が多いことや、保護カバーによる複合防食として別区分とすることが多い。ペトロラタムライニングは、石油ワックスの一種であるペトロラタムを主成分として腐食抑制剤を添加したペトロラタム系防食材により鋼材を被覆する方法である。被覆した防食材を波浪や漂流物の衝突等の外力から守るとともに、さらに腐食環境から遮断した耐久性を増すために保護カバーを設ける。保護カバーの材料には、強化プラスチック（FRP、FRV、FRE、FRPP）やプラスチック（PE、APC）があり、さらに超長期耐用型としてチタン薄板の金属製保護カバーが使用されることもある。

モルタルライニングは、セメントモルタルやコンクリートによる被覆を総称したもので、型枠を取り外す方法と型枠を保護カバーとしてそのまま残す方法がある。ここで、一般には水セメント比 50%前後の密実なモルタルやコンクリートを使用し、モルタルの厚さを通常 100~150mm と大きくするか、あるいはポリマーセメントモルタル、鋼繊維補強モルタル、ポリマー含浸モルタル、水中不分離性モルタル等の改良された特殊なモルタルを使用する。型枠に使う材料としては、FRP、FRV のプラスチックや GFRC や金属がある。

金属ライニングは、一般には耐食性に優れる金属を鋼材の表面に取り付けて防食する方法であり、腐食や摩耗しるに相当する厚さの鋼板を巻く鋼板巻きと耐食性に優れた金属による耐食性金属ライニングとがある。金属ライニングは他の防食法と比較して、機械的強度が大きく、耐衝撃性・耐摩耗性に優れているが、耐食性金属の場合、ライニング金属と鋼材との境界部での異種金属接触腐食により鋼材の腐食が促進されるので、塗装や電気防食などの対策が必要となる。耐食性金属としては、モネルメタル、キュプロニッケル、ステンレス鋼、チタン等がある。なかでも、耐海水性ステンレス鋼ライニングやチタンクラッド鋼ライニングは、超長期の耐久性と LCC ミニマム化の観点から、重要な海洋鋼構造物への適用が増えている。

【設計上の留意点】

海洋鋼構造物の防食は、腐食環境区分に応じて各種の防食被覆工法と電気防食工法が適用されるが、ライニング防食法は主として腐食環境の厳しい飛沫帯・干満帯から海中部に適用される。その設計にあたっては、対象構造物の状況、各防食工法に対する要求性能、防食施工上の要因やコストなどを検討する必要がある。なかでも、防食範囲、部材形状、耐用年数、イニシャルコスト、適用実績等は重要なポイントとなる。

新設構造物のライニングの場合は、ポリエチレンライニングやウレタンエラストマーライニングなどの工場被覆鋼材を使用する方法や、超厚膜形ライニングや耐食性金属ライニングをヤード等で施工する方法が、工期面コスト面も含めて現在では一般的である。既設構造物のライニングには、水中施工形ライニング、ペトロラタムライニング、モルタルライニングが適用可能であり、この中から選択する場合が多い。

【維持管理】

ライニングの維持管理は、防食効果を確保するために行うもので、点検・調査と健全度評価と補修の一連のサイクルで適切に行うことが重要である。ライニングの点検・調査は、目視観察を主体して行うが、各ライニングにより変状の形態が異なるので注意を要する。健全度評価は、詳細点検結果から防食機能についての劣化度によって整理分類し、劣化度判定の結果からライニングの健全度を評価する。補修には、部分補修と全面補修（再施工）があるが、補修工法の選定にあたっては、補修対策調査および補修設計を行い、鋼構造物の機能・施工性・経済性等に基づいて適切な補修を行う必要がある。

以 上

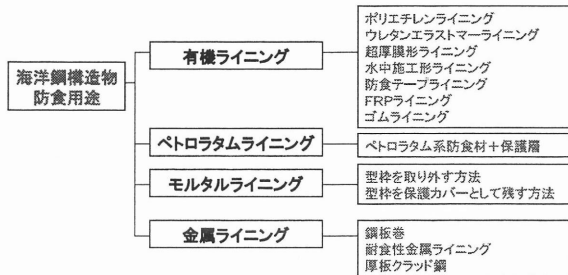
講義5：ライニング

新日本製鐵(株)

石田 雅己

「ライニング」とは？

鋼材を腐食性環境から遮断して防食するために、耐食性材料で鋼材を被覆する方法の一つで、
 ・厚膜で高い防食機能を有する被覆の総称
 ・被覆の種類は、有機質(樹脂・ゴム)、無機質、金属と広範囲



有機ライニング

重防食塗装に比較して膜厚が厚い(防食性、耐久性、耐衝撃性、耐摩耗性)

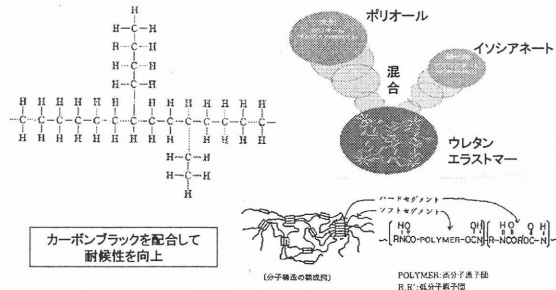
	種類	内容	対象
工場	ポリエチレン被覆	ポリエチレン樹脂を、工場ラインで押出被覆にて鋼管に被覆する方法 鋼矢板の場合は、シート貼付方式	鋼管杭 鋼矢板
	ウレタンエラストマー被覆	ポリオール樹脂とイソシアネートからなる2液速硬化型塗料を特殊塗装機にて塗装 対象物の形状が幅広い	鋼管杭 鋼矢板 鋼管矢板
ヤード	超厚膜形エポキシ樹脂ライニング	エポキシ樹脂とアミン系化合物による2液硬化型の被覆材料を特殊塗装機にてスプレー塗装 対象物の形状が幅広い	構造物全般
現地	水中施工形ライニング	水中硬化型エポキシ樹脂塗料により、既設構造物の及水部補修を目的に開発 バテタイプ、ペイントタイプ、濡潤面タイプ	既設補修

* 主に現場ヤード等で施工……超厚膜形ライニング(エポキシ、ポリウレタン、アクリル樹脂系)、
 ゴムライニング、FRPライニング
 * 主に現地で施工……水中施工形ライニング、防食テープライニング

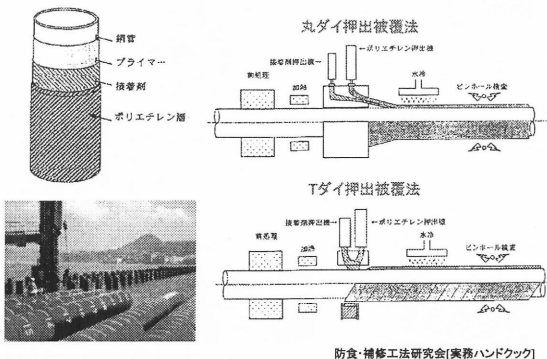
ポリエチレンとウレタンエラストマー

ポリエチレン(熱可塑性樹脂)

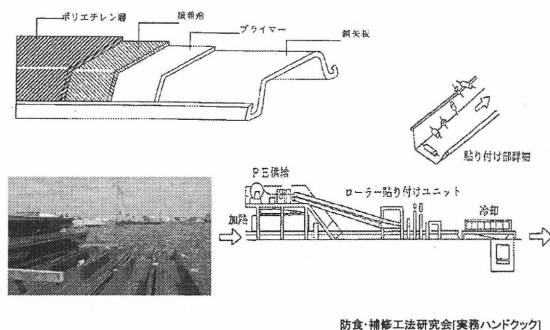
ウレタンエラストマー(熱硬化性樹脂)



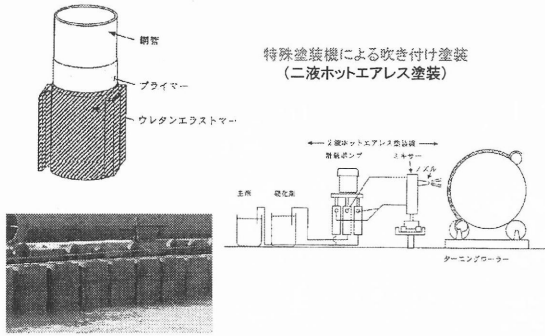
ポリエチレン被覆(鋼管杭)



ポリエチレン被覆(鋼矢板)



ウレタンエラストマー被覆



防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]

超厚膜形ライニング

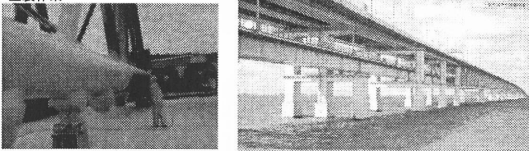
厚膜被覆化を塗料塗装方式で確立(二液)

樹脂系	概要	施工方法	標準膜厚
エポキシ樹脂系	エポキシ樹脂とアミン系化合物からなる二液形の材料 エポキシ樹脂の持つ優れた耐海水性、耐衝撃性、耐薬品性と強靱な被覆を形成	高粘度塗装機 ローラー	1~5mm
ポリウレタン樹脂系	ポリオール樹脂とイソシアネートからなる二液形の材料 低温乾燥性が高く、弾力性のある硬い塗膜で、特に耐摩耗性に優れる	高粘度塗装機	1~5mm
アクリル樹脂系	分子中に(メタ)アクリロイル構造を有する樹脂で、少量の過酸化触媒を添加する材料 硬化がラジカル重合反応で、短時間に硬化塗膜を形成し、低温硬化性もよい	高粘度塗装機	1~5mm

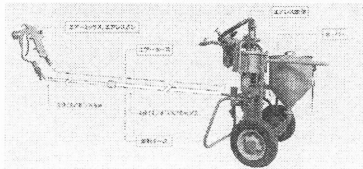
「港湾構造物防食・補修マニュアル(改訂版)」参考

超厚膜形エポキシ樹脂ライニング

塗装作業



特殊塗装機



水中施工形ライニング

水中での施工が可能な材料の開発による

	ペイントタイプ	パテタイプ	湿潤面タイプ
樹脂系	エポキシ樹脂 変性アクリル樹脂	エポキシ樹脂	エポキシ樹脂 変性アクリル樹脂
概要	材料の粘度・比重を水中施工用に調整、水中施工可能	材料の粘度をパテ状に調整、凹凸部・狭隙部への充填が可能	材料の粘度・比重が陸上用塗料と類似、湿潤面(飛沫部)に施工可能
標準膜厚	0.6~4mm	3~6mm	0.3~5mm
施工法	下地	ブラスト	ブラスト
	混合	攪拌機	専用攪拌機、手混合
	塗布	専用塗装機、 刷毛、ヘラ、コテ	主にウェットハンド法

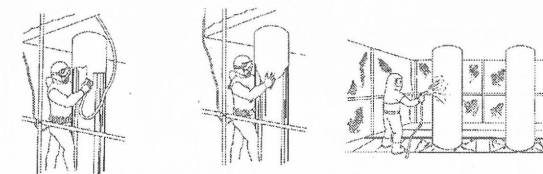
防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]参考

水中施工形ライニング

ペイントタイプ

パテタイプ

湿潤面タイプ



防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]参考

ペトロラタムライニング

ペトロラタム系防食材と保護層の組み合わせからなる

防食材

保護層

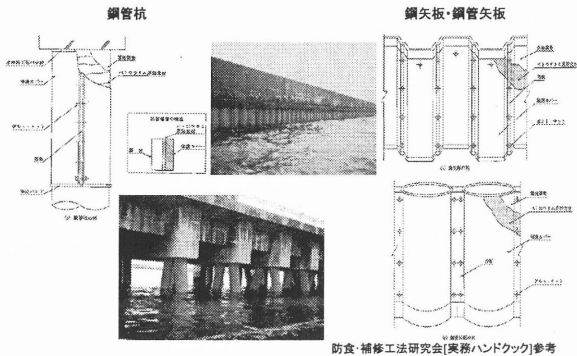
機能	材料
プライマー	ベースト ベーストテープ
防食層	防食ベースト 防食テープ 防食シート
充填材	マスチック

区分	材料
ガラス繊維強化 プラスチック	不飽和ポリエステル樹脂(FR-P)
	塩化ビニル樹脂(FR-V)
	ポリプロピレン樹脂(FR-PP)
耐衝撃性	エポキシ樹脂(FR-EP)
	ポリエチレン樹脂(PE)
プラスチック	アクリル変性塩化ビニル樹脂(APC)
金属	チタン



防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]参考

ペトロラタムライニング



モルタルライニング

セメントモルタルやコンクリートによる被覆を総称
 ① 型枠を取り外す方法
 ② 型枠をそのまま保護カバーとして残す方法



モルタル材料

<一般的>
 モルタル、コンクリート(密実)
 ・水セメント比50%前後
 ・モルタル厚さ:100~150mm

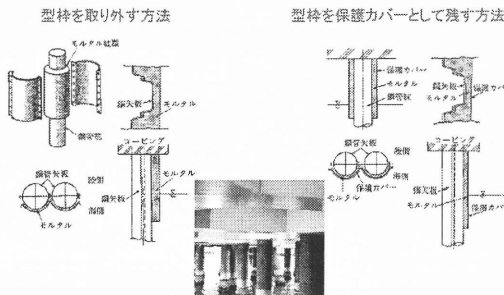
<特殊>
 改良された特殊なモルタル
 ①ポリマーセメントモルタル
 ②鋼繊維補強モルタル
 ③ポリマー含浸モルタル
 ④水中不分散性モルタル

保護カバー用型枠材料

材料	内容
FRP	ガラス繊維で補強された熱硬化性の不飽和ポリエステル樹脂
FRV	ガラス繊維で補強された熱可塑性の硬質塩化ビニル樹脂
GFRC	セメントモルタルにガラス繊維を入れて補強したもの
金属	ステンレス、チタン等

「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」参考

モルタルライニング



「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」

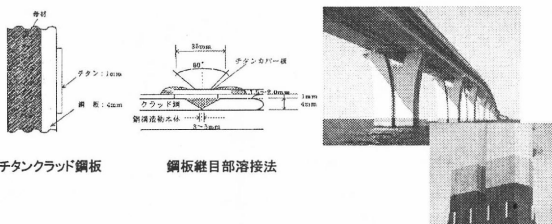
金属ライニング

区分	種類	内容
金属溶射	亜鉛・アルミニウム溶射 +封孔処理	溶射により皮膜を形成 皮膜は多孔質で、樹脂による封孔処理必要 飛沫帯~海中部には適用しない
犠牲鋼板巻き	普通鋼 耐海水鋼	『腐食しろ』や『摩耗しろ』に相当する鋼材をライニングする方法 単独での適用実績は少ない
耐食性金属ライニング	モネルメタル キュプロニッケル	両者ともに銅とニッケルの合金 モネルメタルは主に米国で、キュプロニッケルは主に欧州で使用
	耐海水性ステンレス鋼	不動態を形成することで耐食性維持 海水環境では耐海水ステンレス鋼を使用 鋼材に直接溶接
	チタンクラッド鋼	チタンは普通鋼とは直接溶接困難なため、クラッド鋼の鋼材部分で溶接 チタンの耐食性を利用

防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]参考

チタンクラッド鋼ライニング

チタンは鋼には直接溶接できない。
 チタンを鋼構造物に溶接取付け可能なように、事前に工場で作延や爆着などの方法で鋼板に圧着したチタンクラッド鋼板を使用。

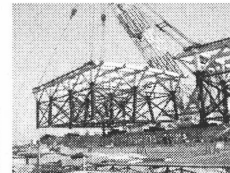


防食・補修工法研究会[実務ハンドブック]参考

耐海水性ステンレス鋼ライニング

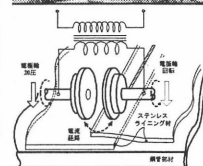
耐海水性ステンレス鋼

『高Nオーステナイトステンレス鋼』
 ・合金元素成分により、飛躍的に耐食性向上
 ・常温海水環境ではチタンに匹敵する耐食性



鋼材と直接溶接ライニングにより汎用技術化
 ・ライフサイクルコストの観点から経済的な防食法
 ・下表により多様化

溶接法	適用板厚	コスト	耐衝撃
イタリ外抵抗シーム溶接	0.4~0.6mm程度	○	○
溶接棒による溶接(TIG, MIG, 手)	1.5mm以上	△	◎



防食工法の選定

①対象構造物の状況

- ・新設 or 既設
- ・補強の必要性…… 構造物の耐用年数等
- ・適用部位…… 飛沫帯、干満帯、海中部等
- ・構造物の種類…… 鋼矢板、鋼管杭、鋼管矢板等
- ・構造物の構造…… 上部工の高さ、突起物の有無等

②防食工法に対する要求性能

- ・防食性能…… 水質、温度等を考慮
- ・耐久性…… 波浪、潮流等

③防食施工上の要因

- ・関連法規…… 公害、安全等
- ・作業能率…… 工期、潮位等

④コスト

- ・コスト…… イニシャルコスト、ランニングコスト
- ・耐用年数…… メンテナンスコスト

「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」

防食工法の適用性

劣化度	有機 ライニング	ペトロラタム ライニング	モルタル ライニング	金属 ライニング
0	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態
1	素地まで達していないすり傷やあて傷が点在している	保護カバーに変色や白垂化が認められる 表面に微細なクラックが認められる状態 ボルト、ナットやバンド材に多少ゆりみがある	表面に小さなひび割れが認められる状態 保護カバーに小さなクラックが認められる状態	ライニング材に小さなあて傷やわずかな腐食が認められる
2	一部に素地まで達するすり傷、あて傷、はがれが生じわずかに錆が認められる状態	保護カバーや当て板に亀裂が認められる ボルト、ナット等に腐食が認められる	ひび割れ幅が大きくなり、一部小さな欠落が見られるが錆の流れ出しはない 一部保護カバーの欠損等が見られるが、錆の流れ出しはない	ライニング材に腐食や傷が認められ、近々、素地の鋼材まで達する状態
3	剥がれや欠損が著しく、錆面が露出し、錆が発生している状態	保護カバーが脱落し、ペトロラタム材が露出又は脱落し、鋼面から錆が出ている状態	セメント硬化体が欠落し、鋼面に錆が見られる状態	鋼面まで達する傷や剥離があり、鋼面から錆が出ている状態

「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」

ライニングの維持管理

①点検・調査

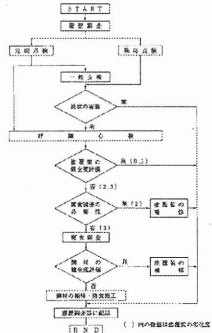
- ・目視観察主体
- ・一般点検 1回/1~2年程度
- ・詳細点検 1回/5年程度
- ・変状に着目

②健全度評価

- ・詳細点検結果
- ・劣化度により整理分類

③補修

- ・劣化程度に応じた補修
- ・補修に先立ち調査



「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」

ライニングの劣化度判定の目安

劣化度	有機 ライニング	ペトロラタム ライニング	モルタル ライニング	金属 ライニング
0	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態	初期状態と変化なく、健全な状態
1	素地まで達していないすり傷やあて傷が点在している	保護カバーに変色や白垂化が認められる 表面に微細なクラックが認められる状態 ボルト、ナットやバンド材に多少ゆりみがある	表面に小さなひび割れが認められる状態 保護カバーに小さなクラックが認められる状態	ライニング材に小さなあて傷やわずかな腐食が認められる
2	一部に素地まで達するすり傷、あて傷、はがれが生じわずかに錆が認められる状態	保護カバーや当て板に亀裂が認められる ボルト、ナット等に腐食が認められる	ひび割れ幅が大きくなり、一部小さな欠落が見られるが錆の流れ出しはない 一部保護カバーの欠損等が見られるが、錆の流れ出しはない	ライニング材に腐食や傷が認められ、近々、素地の鋼材まで達する状態
3	剥がれや欠損が著しく、錆面が露出し、錆が発生している状態	保護カバーが脱落し、ペトロラタム材が露出又は脱落し、鋼面から錆が出ている状態	セメント硬化体が欠落し、鋼面に錆が見られる状態	鋼面まで達する傷や剥離があり、鋼面から錆が出ている状態

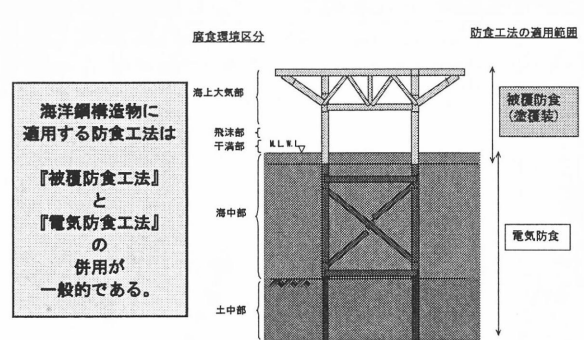
「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」

ライニングの健全度評価

劣化度	調査結果	健全度評価	補修工法
0	全く健全な状態	従来どおりの定期点検を継続する。	
1	損傷や劣化が認められるが、防食機能は維持している状態	特に、補修の必要はないが、多少劣化が始まった時期のため、塗覆剤の種類によっては、以降の点検の時期を多少早める等の配慮が望まれる。	
2	部分的に損傷や劣化が生じ、一部防食機能が損なわれている状態	構造物全体について、補修範囲を決めるための調査を行い、部分的に劣化した箇所を補修する。 ライニングの補修後は、次回の点検時期を早める等の配慮を行う必要がある。	【部分補修】 ライニングの種類によっては、劣化状況、素地調整の程度や環境などにより、同じ材料・工法での補修が困難な場合や不適切な場合がある。この場合、補修部位、劣化状況、素地調整条件、ライニング適合性などを考慮して、補修工法を決定する。
3	全面的に損傷や劣化が進行し、防食機能が失われている状態	全面的にライニング工の補修を行う必要がある。 鋼面の腐食状況によっては、鋼材の腐食調査を行い、構造物の健全度評価を行う必要がある。	【全面補修(再施工)】 過去の経過、現場の条件、ライニング材の耐久性、構造物の耐用年数、工事費等を検討し、補修工法を決定する。

「港湾鋼構造物 防食・補修マニュアル(改訂版)」参考

海洋鋼構造物の防食法



被覆防食法の変遷(飛沫・干満部)

年代	重防食技術	歴史	期待耐用年数	実績
1960年	無機シクリッチペイント + (タールエポキシ樹脂塗料)	1970年代 米国から 重防食塗装を導入	10~15年	【無機シクリッチペイント】 沖縄エアシーパース 沖縄がらシーパース
1970年				
1980年	プレ重防食鋼材 (ホリエポキシ、ホリウレタン) 超厚膜形エポキシ樹脂ライニング	1980年代 厚膜ライニングが登場 長期耐用時代へ	40年程度	【超厚膜エポキシ】 東京湾横断道路 白鳥石油備蓄シーパース (総合防食) 関西国際空港連絡橋
1990年	耐食性金属ライニング チタンクラッド鋼ライニング 耐海水ステンレス鋼ライニング			
2000年	(維持管理を含む総合防食) (ライフサイクルコスト・ミニム化)	1990年代 金属ライニングが登場 超長期防食時代へ	50~100年	【チタンクラッド】 東京湾横断道路橋脚 紋別港水海域展望塔 【耐海水ステンレス】 PSR(徳山、高島町、他) ジャケット式橋脚 (磯崎港、大井地頭)

防食工法と期待耐用年数

