

鋼管杭の防食法に関する共同研究

A Joint Research on Anti-corrosion of Steel Pipe Pile

森 玄*・白石 悟**

MORI Gen and SHIRAIISHI Satoru

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第二調査部長

Corrosion of steel structures in coastal area is inevitable. To investigate the effects of anti-corrosion works, many types of protection methods are performed on steel pipe piles that are constructed in the coast of Kashima-nada, Japan. The field experiment has been continuing for 20 years. This year, a comprehensive survey will be conducted as a summary of 20 years experiment.

Key Words : steel pipe pile, corrosion, protection, joint research

1. はじめに

鋼材はコンクリートと並び、社会基盤施設の整備のためには欠かせない建設材料であり、高強度・加工容易性のため港湾構造物にも多く使用されている。一方、鋼材は腐食という宿命的な欠点を有する。鋼材を長期間無防食の状態にしておくとも腐食が進行し、施設の耐久性を損ない、安全性や機能低下、施設の破壊へ至ることもある。特に海洋環境は腐食に対して厳しい環境にあり、海洋環境における鋼構造物を長期にわたって健全な状態で維持するためには、十分な防食対策が必要である。

現在では、干満帯以上は被覆防食を行い、海中部や海泥中では電気防食により防食が行われることが一般的であるが、これまで防食法については様々な工法が開発され、使用されてきた。

防食工法の効果や耐久性を確認する方法としては、実海洋環境において暴露試験を行い、長期的に観測することが最も信頼性が高い方法と考えられる。本研究グループでは、長期間にわたり防食効果が期待できる最適な防食対策を明らかにすることを目的として、海洋環境に位置する実構造物の鋼管杭に各種防食工法を適用し、現地試験を実施している。

2. 研究体制

本研究では「鋼管杭の防食法に関する研究」と題して、(独) 港湾空港技術研究所、(財) 沿岸技術研究センター、および鋼管杭協会の3者による共同研究を実施している。

調査対象としている防食工法は、有機ライニング工法、無機ライニング工法、ペトロラタムライニング工法、塗装工法、および電気防食工法に分類され、本研究では前記共同研究3者に加えて、防食工法別に14社の民間会社が参加している(平成16年7月現在)。現地での暴露試験は1984年に開始し、本年度で調査20年目を迎える。

3. 研究施設

3.1 観測棧橋

本研究に用いている施設は、茨城県の鹿島灘に位置する波崎海洋研究施設である。昭和57年～60年度にかけて、運輸省港湾技術研究所(当時)が建設したものであり、砕波帯における底質の移動、海底の変形、海浜流の観測などを目的として、太平洋に面した海浜に沖合いに向かって直角に突き出すように建設されている(写真-1)。棧橋の全長は427m、φ600～800mmの鋼管杭が47本打設されており(図-1)、この鋼管杭に各種の防食工法を適用して現地暴露試験を実施している。



写真-1 観測棧橋

各々の杭の断面は、防食工法やその設置位置により多少異なるが、図-2に示すように概ねL.W.L.以上の部分に被覆防食を施し、杭頭部のコンクリート上部にPC桁を設置している。また、海中部には、砂による鋼材の摩耗を防ぐために、φ900～1,000mmの摩耗カバーを取り付けている。

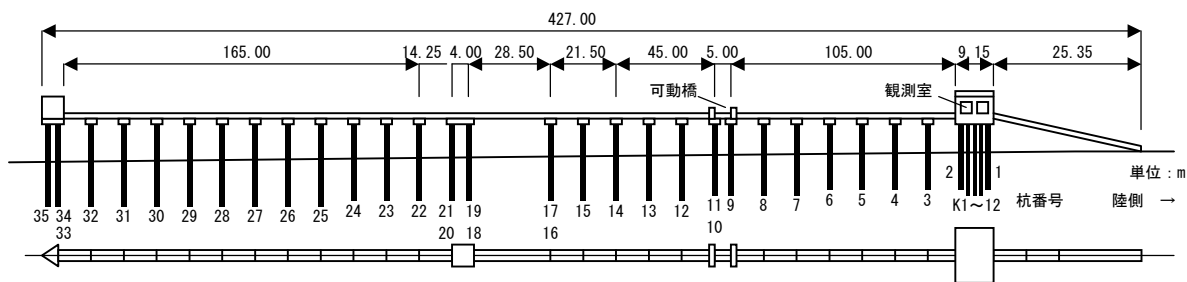


図-1 栈橋全体図

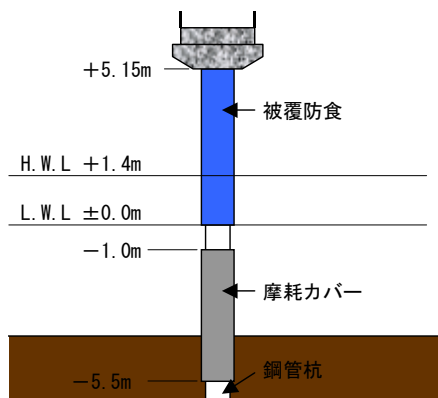


図-2 杭断面図

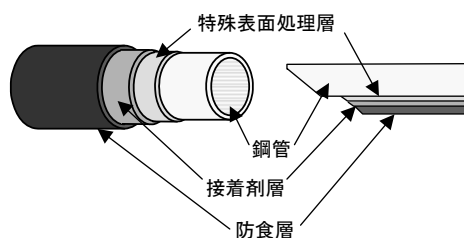


図-3 ポリエチレンライニングの構成

3.2 自然環境

本栈橋は、建設当初は底質移動、海底の変形、海浜流の観測などを目的として建設された。すなわち、ここは海底の砂が大きく移動する波砕帯を含む海域である。破碎した波のしぶきは、平常時で沖合先端から80~170m付近で認められ、本栈橋は天候にかかわらずしぶきを受け続ける。防波堤等の構造物もなく直接外海に位置するため、大きな波浪や速い潮流が直接栈橋に作用し、防食工法の暴露試験としては極めて厳しい環境であると言える。

4. 研究対象とした防食工法

本研究で対象とした防食工法を、以下に紹介する。

4.1 有機ライニング工法

水中硬化型ライニング、ポリエチレンライニングなどに代表される有機系材料により鋼材表面を被覆する防食工法で、塗装と比べ一般的に膜厚が2~10mmと厚く施工され、防食性、耐衝撃性、耐摩耗性に優れているといった特徴がある。

水中硬化型ライニングは、水中硬化型塗料を鋼材表面に塗布し厚膜に形成させたもので、新設・既設構造物を問わず施工が可能のため、補修工法としても有効な防食工法である。一方、ポリエチレンライニングは、新設構造物に適用される。ポリエチレンライニングの構成断面を図-3に示す。

4.2 無機ライニング工法

無機ライニングには、モルタルライニング、金属ライニング、および電着工法がある。

モルタルライニングは、鋼材表面をセメントモルタルやコンクリートで被覆する工法である。モルタルやコンクリートを衝撃等から保護するための保護カバーを取り付けた工法や、補強を考慮した鉄筋コンクリートによる被覆防食工法等も開発されている。

金属ライニングは、鋼材表面を耐食性金属で被覆する工法で、チタンクラッド鋼やステンレス鋼等を用いる。他の工法に比べ機械的強度が大きく、耐衝撃性や耐摩耗性に優れているほか、金属光沢を保持できるため景観面からも用途が広がっている。

電着工法は、鋼材に直流電流を流すことにより鋼材表面に生成される厚い石灰質層を被覆防食として利用する防食方法である。コンクリートのひびわれ補修やコンクリート表面の改質にも適用されている技術である。

4.3 ペトロラタムライニング工法

本工法は、石油系ワックスを主成分とする防食材料により鋼材を被覆する防食法である。防食材を波浪や漂流物等の衝突から守るとともに、腐食環境から遮断して耐久性を向上させるため、保護カバーを設置する(図-4)。保護カバーには通常FRP等の強化プラスチックを用いるが、さらに耐久性を向上させるため、チタンやステンレス鋼など高耐食性金属を用いる工法も開発された。

この工法は水中施工が可能のため、新設・既設構造物を問わず適用でき、下地処理が比較的容易で施工後の養生を必要としないという特長を有している。

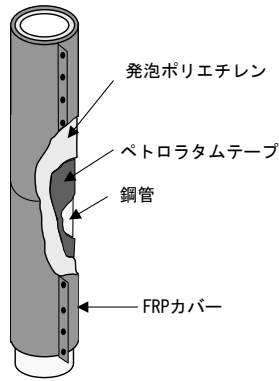


図-4 ペトロラタムライニングの構成

4.4 塗装工法

塗装は、複雑な形状に施工が可能であり、新設・既設構造物を問わず施工が容易である。多種多様な色彩等が選択できるため、港湾構造物へ適用されている事例も多い。使用される環境は非常に厳しい腐食環境であるため、陸上構造物用塗装に比べて厚膜による塗装が行なわれる。しかし、他の防食工法と比べると塗膜が薄く耐久性には難点がある。

代表的な塗装系として、ジンクリッチプライマー＋タールエポキシ樹脂塗料、あるいはエポキシおよび高耐候性塗料（ふっ素系塗料、ポリウレタン塗料、ガラスフレーク入り塗料等）がある。

4.5 電気防食工法

電気防食は、主に海中中部・海底土中部に適用される。外部から鋼材表面へ電流を流すことにより、鋼材を電気化学的に安定な状態に保ち、腐食を防ぐ防食工法である。

外部電源方式と犠牲陽極を用いた流電陽極方式があるが、維持管理が容易なことから、わが国ではほとんどがアルミニウム合金陽極による流電陽極方式が採用されている。また、港湾構造物に適用される電気防食は、海水中・海泥中において防食効果が高く、経済性に優れており、対象施設の新設・既設を問わず防食できる利点がある。適用事例も多く、信頼性の高い防食工法である。

5. これまでに得られた成果

5.1 試験開始10年目における被覆防食の耐久性

試験開始後10年目の調査では、一部の塗装系を除く全ての被覆防食工法において、良好な防食状態が確認された。ただし試験開始数年後に保護カバーの破損事例が数件あり、波浪の厳しい環境においてはある程度のカバー強度等が必要であるという知見を得た。

また、防食効果をモニターするため、各種電気化学的

測定や付着力試験等を実施しているが、室内で確立された試験法においても、現地における測定では測定結果が気温および海象条件に大きく影響されることが明らかとなり、測定やモニタリング技術の確立に取り組んできた。

調査内容は防食工法ごとに異なるが、いずれの工法においても外観観察を基本としている。さらに塗装工法や有機ライニング工法では鋼管杭との付着強度および絶縁抵抗等による劣化評価、無機・ペトロラタムライニング工法については、保護カバー等の劣化調査を実施している。電気防食では、定期的に構造物の電位及びアルミニウム陽極の発生電流を測定し、海象条件や海底面近傍の流砂との関係についても検討を行っている。

5.2 サンドエロージョンに対する電気防食効果

海底面近傍では、砂による物理的な磨耗作用により、鋼材表面に発生した腐食生成物が剥落し、そのため鋼材の表面が活性化して、腐食速度が一般的な海水中の数倍になることが確認されている。図-5は、無防食試験片と保護管なしで電気防食を適用した試験片の海底面近傍での腐食速度を示したもので、これによると試験片に電気防食を適用することにより腐食速度はほぼ0まで低減されていることが確認できた。また写真-2は、試験終了後の無防食試験片と電気防食を適用した試験片を比較したものである。無防食試験片はかなり腐食しているのに対し、電気防食の適用試験片はほとんど腐食が認められていない。電気防食を施すことにより鋼材表面を健全な状態に保つことができ、結果としてサンドエロージョンに対しても有効な防食工法であることが明らかとなった。

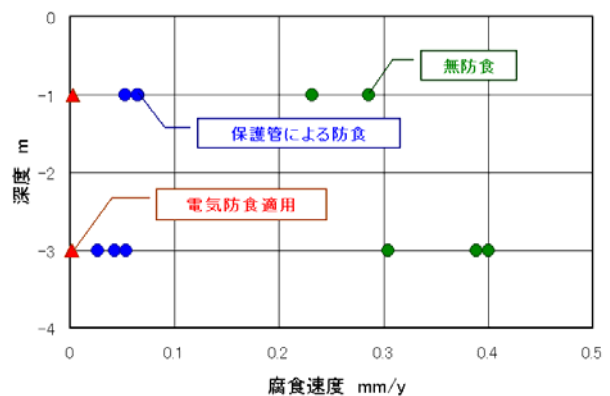


図-5 電気防食の有無による腐食速度の違い

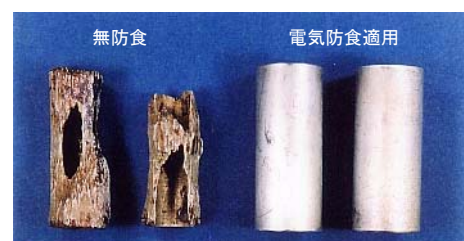


写真-2 電気防食の有無による表面状態の違い

表-1 詳細調査項目一覧

杭番号	防食工法区分	港湾空港技術研究所 調査項目							各社 調査項目										
		外観観察	コア採取	肉厚測定	杭全景写真	気中部写真	海生物除去写真	水中部写真	水中部観察	外観調査	モニタリング	杭表面観察	付着力試験	塗膜厚測定	塗膜吸水率測定	サンプリング	電位測定	コア採取	杭表面肉厚測定
1	有機				○	○													
2	無機				○	○			○								○		
3	ペトロ				○	○			○	○									
4	無機	○	○		○	○													
5	ペトロ				○	○			○										
6	ペトロ				○	○	○		○	○					○				
7	有機				○	○	○		○	○			○	○					
8	無機				○	○	○		○										
9-10	有機+無機				○	○	○		○	○									
11	有機+無機				○	○	○		○	○		○					○	○	
12	ペトロ				○	○	○		○										
13	ペトロ/電防				○	○	○		○	○							○		
14	ペトロ/電防				○	○	○	○	○	○			○				○		
15	有機				○	○	○	○	○										
16	無機/ペトロ/電防				○	○	○	○	○	○									
17	無機	○	○		○	○	○	○	○								○		
18	有機				○	○	○	○	○	○	○	○							
19-20	ペトロ				○	○	○	○	○	○									
22	特殊ウレタン/電防	○			○	○	○	○	○	○									
23	ペトロ/電防			○	○	○	○	○	○										
24	裸/電防	○		○	○	○	○	○	○										
25	ペトロ/電防				○	○	○	○	○	○							○		
26	ペトロ	○		○	○	○	○	○	○	○									
27	裸/電防				○	○	○	○	○	○									
28	有機				○	○	○	○	○	○							○		
29	有機				○	○	○	○	○	○									
30	ペトロ/無機				○	○	○	○	○	○							○	○	
31	裸/電防	○		○	○	○	○	○	○							○			
32	有機/電防				○	○	○	○	○	○			○	○	○	○			
32-35	有機				○	○	○	○	○	○			○	○	○				
K1	塗装				○	○													
K2-3	塗装				○	○			○	○	○	○							
K4-12	塗装				○	○													

*K番は、観測室下部の杭。

6. 20年目の詳細調査

試験開始後20年目となる本年は、詳細調査を実施する。各防食工法ごとに調査項目や方法を討議し、調査要領書を作成した。表-1に、各杭ごとの調査項目を示す。各杭共通に調査を行う項目については、(独)港湾空港技術研究所が主体となり、同一観点から調査を実施する。また各防食工法固有の調査項目については、各防食工法担当会社が主体となり、詳細調査を行う。得られた調査結果は、これまで蓄積してきたデータを含めて整理を行い、長期耐久性や防食効果を評価し、20年間の総括調査報告書を取りまとめる予定である。

7. 今後の予定

本研究は、これまで長期間にわたり現地試験を実施してきたが、今後も現地の暴露試験を長く継続していくとともに、さらなる防食技術の改良や開発を行っていきたく考えている。超長期耐用やLCCを考慮し、高耐食材料であるチタンや耐海水性ステンレス鋼を用いた防食工法についても暴露試験を開始している。これらの防食工法についても今後長く暴露試験を実施し、長

期耐久性や防食効果を調査していく予定である。

20年が経過し今なお現地試験を継続中であり、世界的にも類のない貴重な研究といえる。ここで得られた貴重なデータを幅広く利用できるよう、本研究成果については調査報告書のみならず、新たに技術書として取りまとめ、発刊する予定である。

最後に、本報告は(独)港湾空港技術研究所、鋼管杭協会および関係者の共同研究で得られた成果を取りまとめたものであることを付記し、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阿部正美・福手 勤・山本郁雄・清水一夫・真鍋昌司：波浪海域に位置する鋼構造物の電気防食法に関する現地試験，港湾技研資料，No. 921，23p.，1998.
- 2) 阿部正美・濱田秀則・真壁知大・西澤信二：海洋鋼構造物の被覆防食法に関する長期試験，港湾技研資料，No. 952，26p.，2000.
- 3) 福手 勤・阿部正美・真鍋昌司・栗栖孝雄：海洋鋼構造物の被覆防食法に関する長期試験，土木学会論文集，第623号/VI-43，pp. 97-108，1999.