

重防食被覆鋼管杭の長期耐久性調査 (暴露40年経過時)

鋼管杭技術委員会／港湾・防食小委員会

1. はじめに

鋼管杭や鋼矢板は、施工性や構造性能の優位性から多くの港湾・沿岸構造物に適用されてきたが、海水に直接暴露され、潮位変動や波浪作用等による厳しい腐食環境に晒されることから、適切な防食対策が不可欠である。防食設計においては、「港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾」に基づき、朔望平均干潮面以下1mよりも上部に被覆防食を施すことが標準とされ、工場の専用設備で被覆した重防食被覆工法が多く用いられている。この重防食被覆

工法の長期耐久性に関しては、波崎海洋研究施設砕波帯総合観測用栈橋（以下、波崎観測栈橋）にて、港湾空港技術研究所他との共同研究として、1984年から重防食鋼管杭の暴露試験²⁾を実施している。本レポートでは、暴露40年経過時（2024年）の調査結果について概要を紹介する。

2. 調査概要

現地での長期暴露試験に使用している波崎観測栈橋（図1参照）は、茨城県鹿島灘（漂砂影響が大きく砕波帯を含

む波浪海域）に位置し、防食工法の長期耐久性評価環境としては極めて厳しい条件におかれた全長427mの直杭式栈橋構造である。打設された鋼管杭47本に対して、各種防食工法に関する現地試験が実施されている。鋼管杭・鋼矢板技術協会では、No.31～35までの5本の鋼管杭の重防食被覆部分に関して、1984年から長期耐久性の試験を継続している。本試験における重防食鋼管杭は栈橋の中で最も外洋側に位置し、鋼管杭のコンクリート上部工の位置から-1.75m程度まで重防食被覆が施され、その直下にはサンドエロー

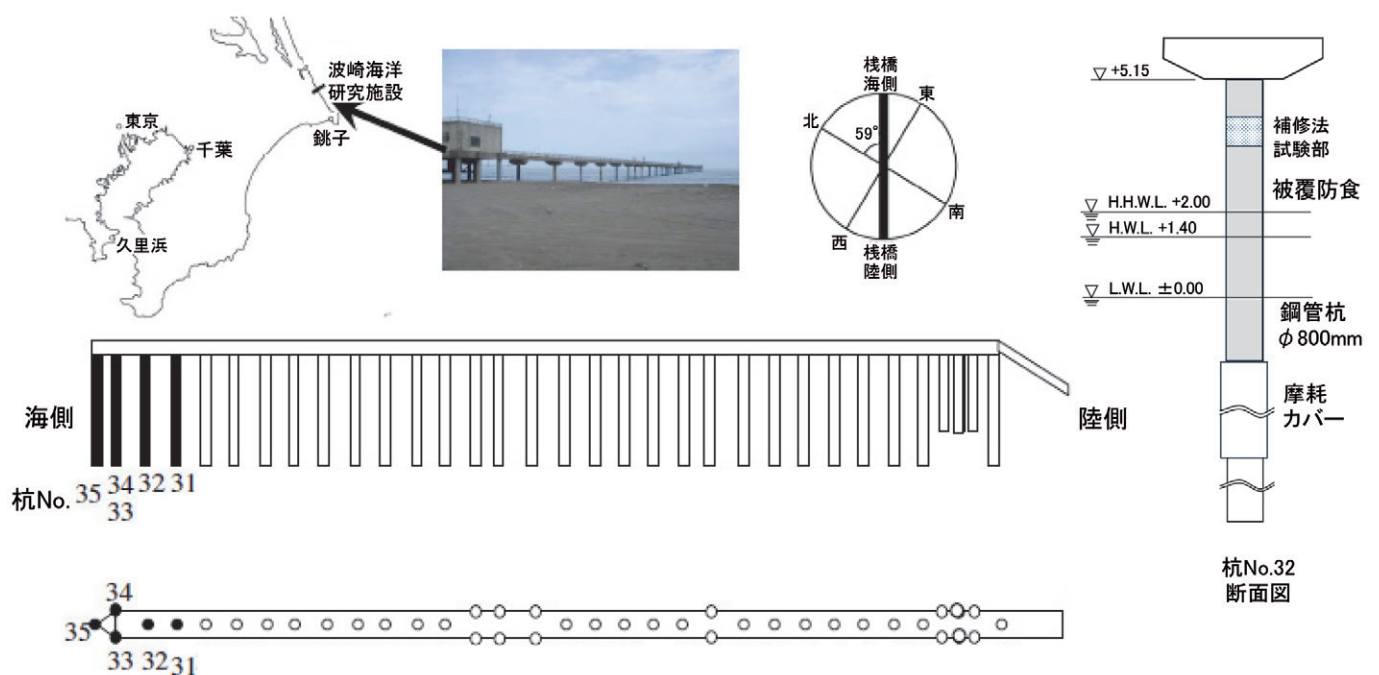


図1 波崎観測栈橋 位置図および横断・平面・断面図

ジョン対策として摩耗カバーを設置している。本試験の重防食被覆工法にはポリエチレン被覆を適用している。杭No.31～35は3種類の初期被覆厚の製品が使分けられている。

調査方法としては、毎年一般調査として外観観察を実施し、10年毎に詳細調査を実施している。2024年度の40年経過時の詳細調査は、30年経過時の試験項目をもとに、表1の項目を実施した。

表1 ポリエチレン被覆工法の各杭の調査項目

対象の鋼管杭	No.31	No.32	No.33	No.34	No.35
暴露開始時の平均初期被覆厚(mm)	4.6	4.6	3.6	2.9	2.9
現場調査					
外観	○	○	○	○	○
付着力試験(ピール強度)	○	○	○	○	○
被覆厚み測定	○	○	○	○	○
鋼管杭の板厚測定	○	○	○	○	○
打音検査	○	○	○	○	○
室内サンプル調査					
厚さ	○	○	○	○	○
機械的性質(引張強度・伸び)	○	○	○	○	○
体積固有抵抗	○	○	○	○	○
Clイオン侵入濃度(SEM-EDX)	○	—	○	—	○
吸光度(FT-IR)	○	—	○	—	○

3. 現地調査

(1) 外観観察

足場上・潜水作業により目視・写真撮影による外観観察を行ったところ、重防食被覆部分に防食機能低下に繋がる大きな変状(浮き、剥離等)は見られなかった。一例として、杭No.32の写真とスケッチを、30年経過時のものと併せて写真1、図2に示す。

(2) 付着力試験

重防食被覆の付着力はJIS G 3469(ポリエチレン被覆鋼管)に規定されているピール強度測定に準じた。測定位置は暴露30年経過時にサンプルを採取した各杭の陸側+3.5m付近の近傍とした。測定の結果、付着力は40年経過時においても出荷時製品仕様³⁾である35N/cmを高値で満足する良好な付着力294N/cmの維持を確認した。

(3) 被覆厚み測定

重防食被覆の厚みは電磁誘導方式膜厚計を用いて測定した。測定位置は+3.5m付近と+5.0m付近の各標高12箇所とした(杭No.33の標高+5.0m付近は補修工法によるチタンカバーが施工されているため未計測)。測定の結果、被覆厚みは出荷時の製品仕様³⁾である2.5mmを十分満足することを確認した(表2参照)。

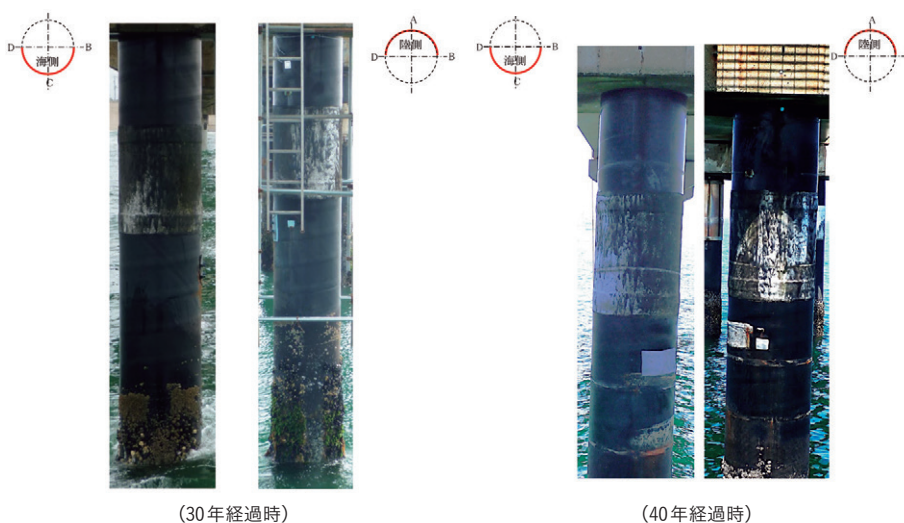


写真1 杭No.32外観写真

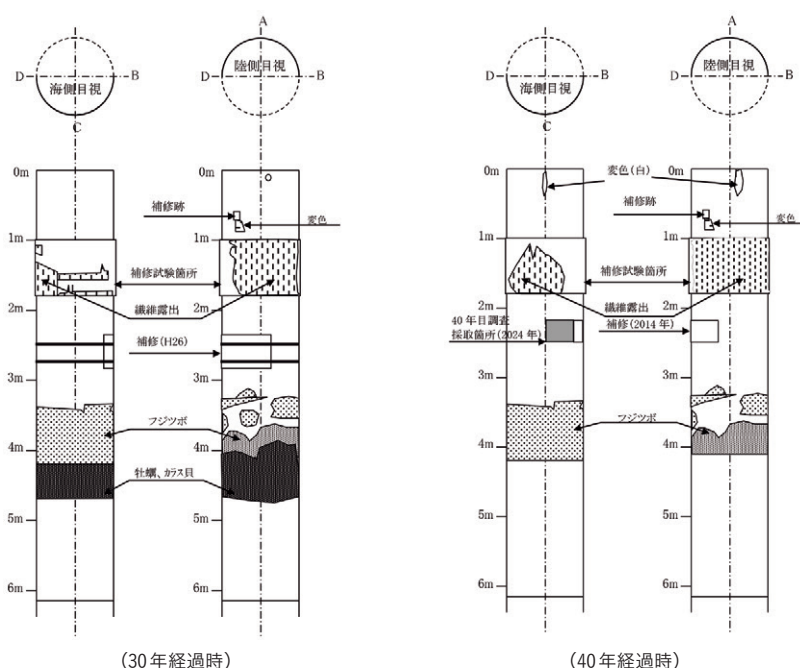


図2 杭No.32外観スケッチ

(4) 鋼管杭の板厚測定

杭の陸側+2.5m付近において、供用後30年経過時の調査として被覆を剥がした箇所の左隣において、200×200mmのポリエチレン被覆のサンプルを採取した。併せて、当該箇所の鋼管露出部を対象として板厚計測を実施した。図3に示す①～⑤の5点で、それぞれ3回ずつ計測を実施して、各点の平均値を整理した結果を表3に示す。また、5点×3回の15回計測における変動係数を併せて示す。その結果、杭No.31、杭No.33および杭No.35の変動係数が比較的大きく、計測点による板厚のばらつきが大きいことがわかる。特に、②、③および⑤の計測点において板厚が小さい傾向が認められ、20年および30年経過時に重防食部を剥がした後の補修部側から劣化が進んだ可能性が高いと推察

される。このため、30年採取部から最も離れている①および④の計測点を対象として平均値を算出し、20年経過時および30年経過時の調査結果とあわせて表4に整理した。これらと比較した結果、いずれの杭においても30年経過時と比べ、顕著な板厚減少は認められず、「JIS A5525 鋼管ぐい」に規定される板厚のマイナス公差(-0.8mm)を考慮した管理値である11.2mm以上が確保されていることを確認した。20年経過時よりも板厚が減少しているのは、既述のとおりサンプル取得部分の端部から接着劣化が進んだ影響と考えられる。

4. サンプルを用いた室内試験

重防食被覆のサンプルを採取し、試験室内で各種調査を実施した。

(1) 引張強度

採取サンプルの表面疵を除去した上で試験体を切り出し、JIS K 7113に準拠した引張試験を行った。測定の結果、出荷時製品仕様³⁾である引張破断強度11.8N/mm²および引張破断時の伸び300%を下回る試験体がそれぞれ存在することが分かった。試験体の破断モードに着目すると、評点間距離外での破断や、これまでの詳細調査で見られなかった層状剥離破断の発生が確認された。測定結果を表5に示す。

(2) 体積固有抵抗

採取サンプル塗膜面に電導ペーストを塗布し、アルミ箔電極(主電極、ガード電極)を貼付後、30分以上待機し絶縁抵抗値の測定を行った(図4参照)。印加電圧は100Vとした。体積固有抵抗は絶縁抵抗値に電極面積をかけ、厚

表2 被覆厚み測定結果

杭No.	最小被覆厚み (mm)
31	4.2
32	4.0
33	3.6
34	3.4
35	3.3

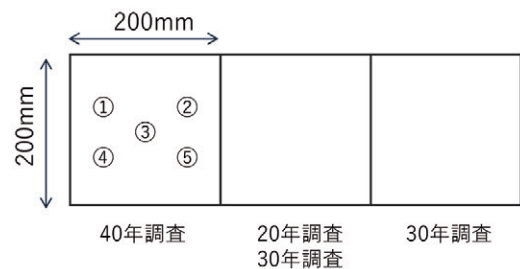


図3 板厚計測位置

表3 板厚計測結果

杭No.	40年経過時板厚 (mm)							
	①	②	③	④	⑤	①～⑤平均	変動係数	①, ④平均
31	11.90	11.60	11.90	11.90	11.43	11.75	0.017	11.90
32	11.70	11.87	11.83	11.70	11.70	11.76	0.007	11.70
33	11.60	11.40	11.40	11.83	11.30	11.51	0.017	11.72
34	12.00	11.90	11.90	11.93	11.97	11.94	0.007	11.97
35	11.73	11.10	11.60	11.90	10.50	11.37	0.045	11.82

表4 板厚計測結果(30年経過時との比較)

杭No.	20年経過時	30年経過時	40年経過時 ^{注)}
	平均板厚 (mm)	平均板厚 (mm)	平均板厚 (mm)
31	11.94	11.81	11.90
32	11.92	11.83	11.70
33	12.02	11.72	11.72
34	12.02	11.87	11.97
35	12.07	11.86	11.82

注) 計測点①, ④の平均値

表5 引張強度測定結果

杭No.	最小破断強さ (N/mm ²)	最小伸び率 (%)
31	8.8	85
32	8.9	351
33	4.2	425
34	18.3	752
35	10.7	556

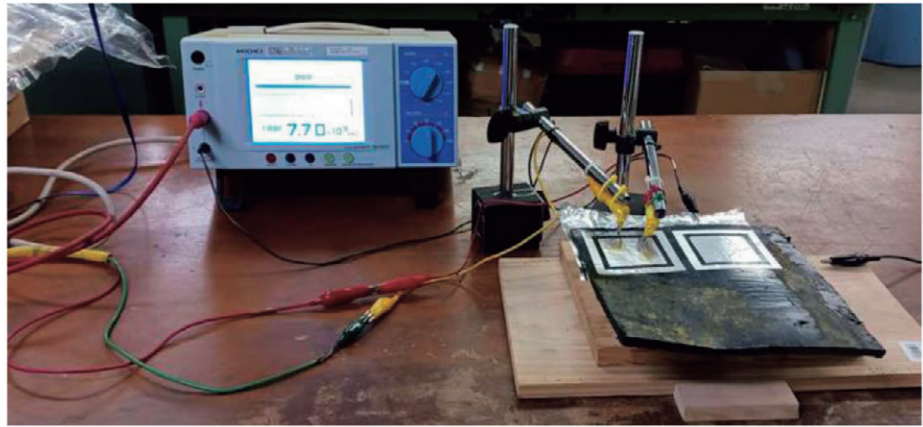
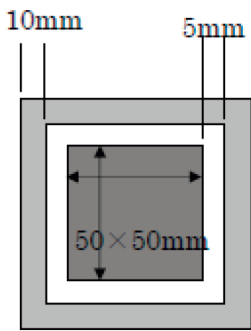


図4 絶縁抵抗値の測定状況

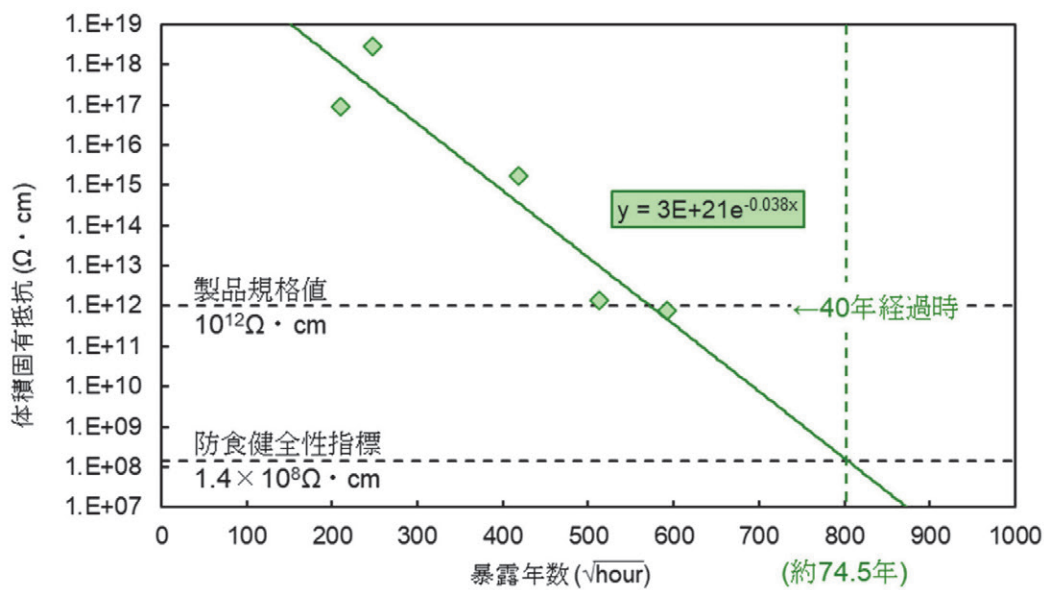


図5 平均体積固有抵抗値経年変化²⁾

みで除して算出した。過去の計測結果とあわせて図5に示す。体積固有抵抗は一部の杭で、製品規格値の $1.0 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ を下回るものがあったが、防食健全性指標²⁴⁾である $1.4 \times 10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ は確保できていることを確認できた。

5. まとめ

波崎観測栈橋における被覆防食工法の長期暴露試験に関して、40年経過時

点の調査を実施した。その結果、重防食被覆材自体の経年による劣化が進んでいるものの、防食性能上必要な体積固有抵抗の指標は上回り、鋼管杭の板厚も減少していないことが確認された。本レポートでは、調査結果の概要のみを紹介したが、詳細な結果は別の機会に公表する予定である。

今後も、長期暴露試験の定期調査を継続し、更なる重防食被覆の長期耐久性に資するデータを蓄積していく所存である。

【参考文献】

- 1) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説、(社)日本港湾協会、pp.599-601, 2018.
- 2) 山路ら：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, 2016.6.
- 3) 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会：重防食鋼管杭・鋼管矢板製品仕様書、2016.3
- 4) R.Charles Bacon, Joseph J.Smith, and Frank M.Rugg：Electrolytic Resistance in Evaluating Protective Merit of Coatings on Metals, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 40, No. 1, 1948.