

港湾鋼構造物の腐食対策

運輸省港湾技術研究所設計技術研究室
同 上 材料研究室

横田 弘
福手 勤

Corrosion Control of Port and Harbor Steel Structures

Hiroshi Yokota and Tsutomu Fukute

1. はじめに

港湾構造物において鋼材はコンクリートとならぶ主要材料である。防波堤のような外郭施設では鉄筋コンクリート構造のものがほとんどであるが、係留施設では最近の統計¹⁾によると、係船岸全体の約30%が鋼矢板を用いた矢板式係船岸、約15%が鋼管杭と鉄筋コンクリートの上部工よりなる栈橋式係船岸である。つまり、おおむね半数の係船岸が鋼構造物であると言える。これら鋼構造物の最大の弱点は言うまでもなく腐食であり、海洋環境においては腐食対策なくして鋼材の適用は考えられない。構造物が所要の耐力を有し、安全に使用されるためにも鋼材の腐食を十分に考慮した設計が不可欠である。本稿では海洋環境下における鋼材の腐食の特徴とこれに対する対策についての概説を行う。

2. 海洋環境における鋼材の腐食性状

港湾での鋼構造物の腐食性状は、既に多くの調査・研究によっておおむね明らかにされている。港湾鋼構造物の腐食環境は、海中部、干満部、飛沫部など鋼材の存在する場所により異なり、構造物はこれらの異なる環境にまたがって存在している。海洋環境における鋼材の深度方向の腐食速度分布は一般にFig.1のように示されている²⁾。海水の飛沫を浴び、酸素の供給も豊富である飛沫帯は腐食が激しく、とくに朔望平均満潮面(HWL)直上部で腐食速度は最大となる。また、水面下の部分では干満帯直下部分の腐食速度が大きくなるが、この部分は鋼材の形状や環境条件によって非常に異なる。一方、構造物の種類によっては平均干潮面(MLWL)直下部分の腐食速度が著しく大きくなり、飛沫帯での値を上回ることもある。このような局部腐食を集中腐食と呼んでいる。集中腐食は、MLWLを挟んで上がカソード、下がアノードとなるマクロセルが形成するために生じる。港湾構造物の場合、飛沫帯において鋼材が露出していることは少ないので、この部分の腐食が問題になることは現実には希である。これに対し、MLWL直下の腐食は環境により一様でないため予測が困難であるとともに、ほ

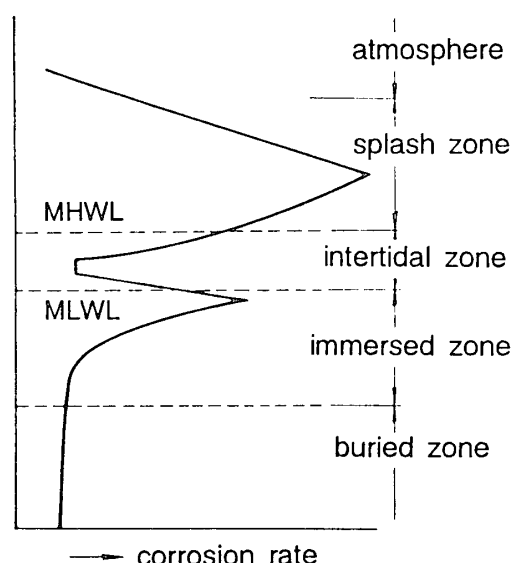


Fig.1 General profile of corrosion

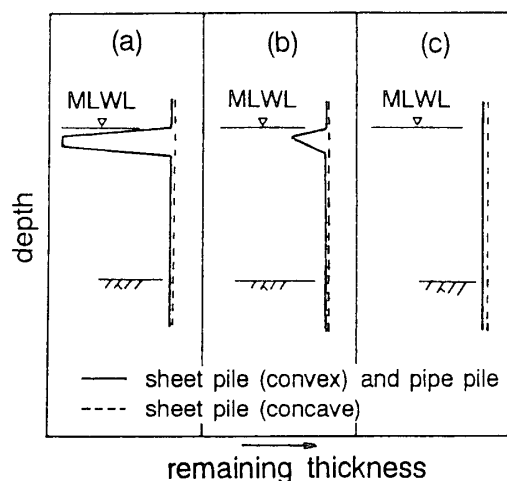


Fig.2 Corrosion pattern

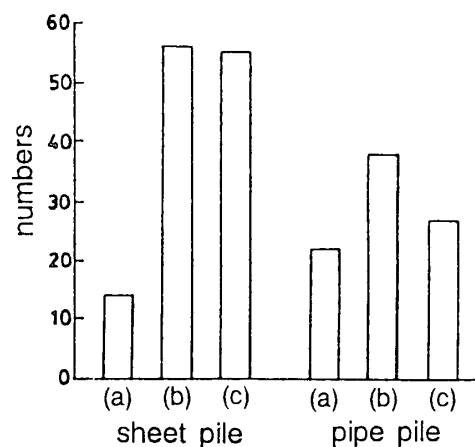


Fig.3 Classification of corrosion

とんど常時海水に没している箇所でもあるため点検も容易ではない。したがって、現実にはこの部分の腐食が最も問題になる。

集中腐食の有無を知るには、MLWL直下付近の腐食速度のみでなく、鉛直方向の腐食速度の分布形を調べることが有効である。一般に港湾構造物の腐食

はFig.2に示す3つのパターンに分類される。パターン(a)はMLWL直下付近に腐食速度のピークが明瞭に現れ、かつその値が0.2mm/yより大きい場合である。パターン(b)はピークの値が0.1~0.2mm/y程度であるがパターン(a)ほど明瞭でない場合、およびパターン(c)は腐食速度が0.1mm/y程度以下でピークが認められない場合である。また、鋼矢板では凸部の方が凹部よりも集中腐食を受けやすい傾向があることがわかる。

実構造物の腐食調査から得られた腐食パターン別の頻度の一例をFig.3に示す。パターン(c)、すなわち集中腐食の傾向が認められないものは全体の40%足らずであり、半数以上のものに集中腐食の傾向が認められる。また、パターン(a)は鋼管杭の方が鋼矢板より発生比率が高く、腐食速度とあわせて鋼管杭の方が腐食しやすい傾向を有している。

3. 防食工法的设计

腐食から鋼材を護るには、構造物新設時からの防食が必要である。防食工法的设计に当たっては、鋼材の腐食速度がどの程度になるか、また集中腐食の可能性があるかななどを適切に判断する必要がある。港湾における鋼材の腐食速度は、水質環境、鋼材の鋼種などによって異なるので一律に決めることは難しいが、平均的な値としてTable1が与えられている。この表の値は集中腐食を考慮していないが、前述のように集中腐食を起こす場合があるので、実際にはこの表を参考にしつつ、既往の腐食調査結果など類似の条件下でのデータの収集や腐食調査をもとに設計腐食速度を決定する。

Table 1 Average corrosion rate of steel

environment	corrosion rate (mm/y)
sea side	
above HWL	0.3
HWL ~ LWL-1.0m	0.1 ~ 0.3
LWL-1.0m ~ sea bed	0.1 ~ 0.2
below sea bed	0.03
land side	
atmosphere	0.1
above RWL	0.03
below RWL	0.02

港湾鋼構造物への防食法は海上部、海中部、海底土中部の3区分に分けて、それぞれの箇所最適なものを選定する。Fig.4に防食工法の適用事例を示す。海上大気部には一般に塗覆装が適用される。塗覆装では、腐食環境が厳しいことを考慮して膜厚などの仕様を決める必要がある。電気防食は既往の調査結果により、現在ではMLWL以下に適用し、それより上方では用いない。

海中部では、電気防食および塗覆装を適用する。電気防食は、原理的にも十分確立しているが、防食効率を適宜チェックする必要がある。塗覆装の場合は、海上部から連続して同じ工法が適用できる

利点があるが、海中部では点検・補修が容易でないことなど、適切な管理が求められる。腐食しろ（代）による方法は原則として認められていないが、鋼材肉厚の余裕分を有効に利用できる耐用期間の短い構造物などでは適用可能である。海底土中部には塗覆装が適用できず、電気防食あるいは腐食しろを適用する。海中部に電気防食を用いる場合には、海底土中部にも自動的に電気防食が施されることになる。この部分では腐食速度が小さいことから、腐食しろによる方法は問題なく適用できる。

既に述べたように海中部と干満帯の境界は腐食がとくに厳しい箇所であるので、防食設計では基本的には境界部をMLWL以下とし、干満部の塗覆装をMLWL-1m程度にまで延長して用いている。また、電気防食の設計においては、一般的な水質下での海中部の防食電流密度の初期値を 100mA/m^2 、定常値を初期値の40~50%とし、海底土中の電気防食密度を海水中の20%に設定している。電気防食を施しても腐食はわずかではあるが進行する。現状では防食率の値を詳細に決めるデータが少ないことなどから、設計では90%の防食率を採用している。港湾鋼構造物に使用される塗覆装の種類は、ペトロラタムライニング、塗装、有機ライニング、無機ライニングに大別される。新設の場合には、工場製品であるポリエチレンライニングおよびポリウレタンライニングが使われることが多い。

4. 腐食評価

供用中の構造物では、腐食の定性・定量的性状を踏まえて適切な維持管理が持続的に行われる必要がある。維持管理は鋼材の腐食調査を主目的に、水面上および水面下での目視観察および肉厚測定を決められた頻度で実施する。さらに、防食工法に応じて電気防食調査や塗覆装調査を行う。電気防食調査は、流電陽極方式の場合には毎年1回の定期点検で電位の測定、異常時および5年に1回の精密点検で陽極消耗状況などの詳細な点検を、外部電源方式の場合にはこれらに加えて2ヶ月に1回の頻度で電位測定を行うことが推奨さ

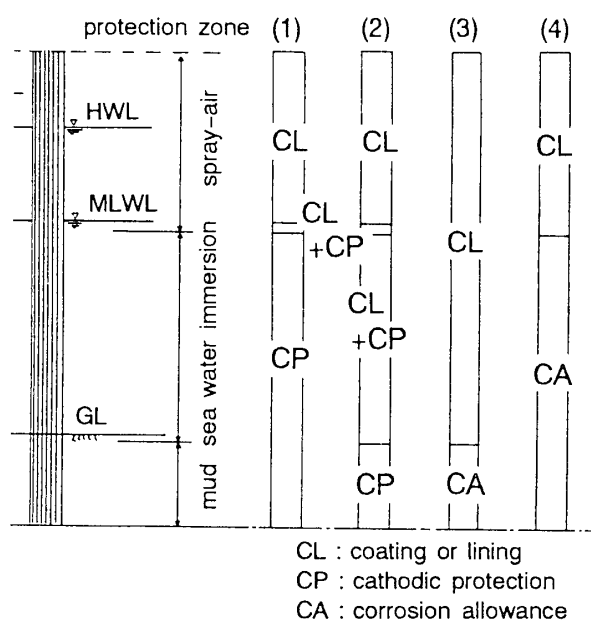


Fig.4 Examples of corrosion protection work

れている。

5. 補修・補強工法

腐食して減少した肉厚を用いて算定した断面力が許容応力度を超える場合あるいは超えることが予想される場合には断面修復などの補修・補強が必要となる。補修は腐食の程度や補修用設計耐用年数に応じて部材レベルの補修か、あるいは構造全体レベルの補修かの選択がなされる。Fig.5では、構造物の強度増加を図ると同時に腐食速度を遅らせる場合を示しているが、このような対策により構造物の延命化が期待できる。

補修対策工については実績が少ないが、これまでの事例ではFig.6に示すように、鉄筋コンクリートの巻立てと鋼板の溶接による方法が主に行われている。鉄筋コンクリート巻立ては腐食で損傷した部分を鉄筋コンクリートで被覆する

方法である。鋼材と鉄筋コンクリート間で力の伝達が適切に行われる必要があり、このための設計上の手法が提案されている^{5, 6)}。鋼板溶接では、コンクリートのかわりに鋼板を溶接して補強する方法である。溶接には乾式法と湿式法がある。湿式法は安価であるが、現行溶接技術では品質上の問題がある。また、補強鋼板自体の防食も重要である。

6. あとがき

港湾鋼構造物の腐食状況については、全国的な調査などをおしてさらなるデータの蓄積を図っている。これらをもとに、より精緻な防食設計法や補修設計法を確立し、構造物の延命化に寄与していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 老平・塩見 (1993) : 直ぐい式横棧橋の構造諸元の統計的分析, 港湾技研資料No. 749
- 2) 横井・阿部 (1989) : 港湾鋼構造物の腐食の実態について, 土木学会論文集No. 403
- 3) 沿岸開発技術研究センター (1986) : 港湾鋼構造物防食マニュアル
- 4) 沿岸開発技術研究センター (1986) : 港湾鋼構造物補修マニュアル
- 5) 清宮ほか (1987) : 棧橋に用いられた鋼管杭の腐食状況と残存強度, 港湾技研資料No. 593
- 6) 清宮・野口・横田 (1989) : 腐食鋼矢板の補修工の耐力特性, 港湾技術研究所報告28-3

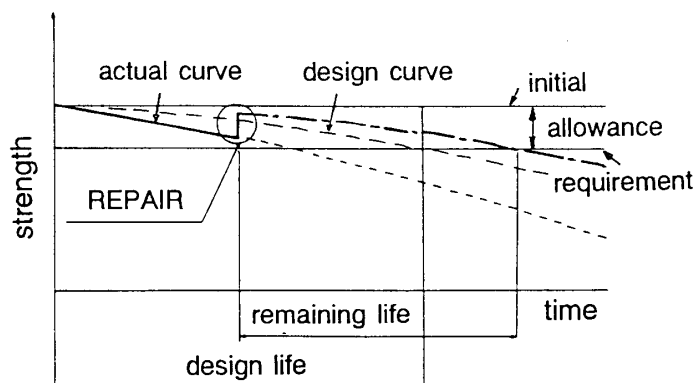


Fig.5 Extending the life of structures with repair

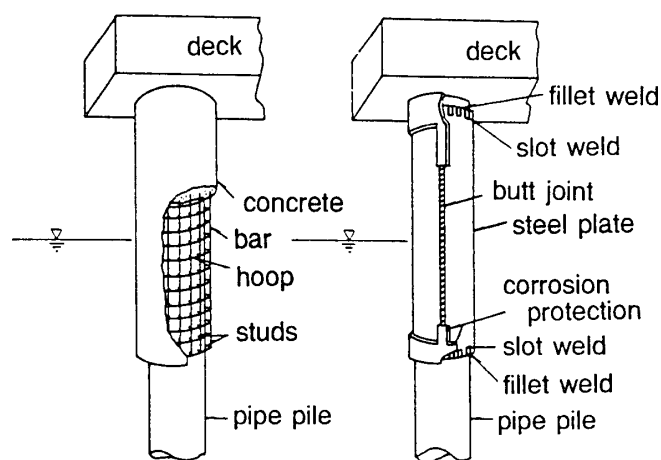


Fig.6 Repair to pipe piles with concrete and steel