

プロジェクト紹介【寄稿】

港湾構造物の維持補修プロジェクト

～鋼構造防波堤の局部腐食事例を題材とした腐食メカニズムの推定～

板野 誠司

ITANO Seiji
株式会社エイト日本技術開発
河川港湾部
港湾グループ



はじめに

厳しい財政制約下にある我が国では、近年、公共事業費が縮減され続ける一方で、高度経済成長期に集中して建設された多くのインフラ施設が更新時期を迎えている。港湾施設においても例外ではなく、新規施設の計画が選択と集中により重点的に取り組まれる中で、多くの港や施設では、既存施設の延命化を重視しつつある。

港湾施設では、施工期間が比較的短いことや軟弱地盤への適応性などから、以前から鋼構造形式が多用されてきた。しかし、鋼構造形式では、腐食という経年変化を避けて通ることができず、施設の維持管理や延命化にあつ

て大きな弊害となっている。

鋼矢板や鋼管杭など鋼構造部材の腐食は、残存肉厚を測定することで腐食量を定量的に評価できる。しかし、大半が水面下に没する港湾施設では潜水士を介する水中調査となるため、肉厚測定調査の実施頻度(時間間隔や調査数量)が十分でなかったり、海生生物の付着によって十分な目視調査さえ困難であったり、厳しい調査環境にある。また、溶存酸素、pH、鋼材の化学成分や海生生物など、腐食に影響を与える因子が多様な中で、断片的な調査結果から異常腐食の原因を究明する難しさもある。

本稿では、鋼構造防波堤の補

修工事において発見された珍しい局部腐食の事例を題材に、腐食の原因・メカニズムの推定について報告するものである。

腐食のメカニズム

腐食とは、アノード(酸化)とカソード(還元)が同時に起こる電気化学的反応である。(図1)

腐食環境が均一な場合、鋼材の表面に形成されるアノードとカソードが、絶えず位置を変動しながら相互に入り混じって分布するため、鋼材全面が平均的に腐食する。この腐食形態をマイクロセル腐食という。反対に、腐食環境が偏ることでアノードとカソードの領域が固定される場合は、アノード領

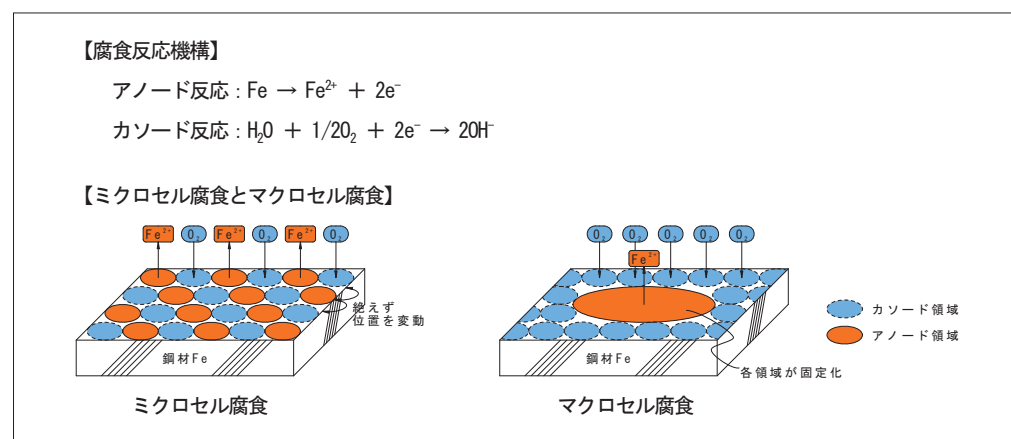


図1 腐食反応のメカニズム

域で腐食が一方的に進む。この局部腐食の形態を、マクロセル腐食と呼ぶ。

港湾施設では、水面(平均干潮面)直下付近にマクロセル腐食が多く発生することが知られており、集中腐食と称して特に警戒されている。(図2)

対象施設の情報

対象施設は、日本海の沖合80kmに位置する離島の内湾にある鋼構造防波堤である。

図3に示すように、RC製のカーテンウォール版を、鋼製の取付バンドとH形鋼を介して鋼管杭に取り付けた構造である。1979～

1981年にかけて順次竣工したが、2002年にはカーテンウォール版の脱落が報告されていた。潜水目視調査の結果、カーテンウォール版を取り付けているH形鋼の腐食は激しいものの、肉厚測定の結果、鋼管杭については比較的腐食の進行は軽微であり、鋼管杭本体は健全と判断していた。

このため、2009年にカーテンウォール版の付け替えを目的とした補修工事が着手されたが、カーテンウォール版や取り付け部材を撤去した段階で、鋼管杭本体に貫通孔等の著しい局部腐食が発見された。

発生した局部腐食について

局部腐食の発生状況を図4に示す。調査の結果、局部腐食の発生状況に一定の傾向があることがわかった。

- ① 港内外の杭のうち、港外側杭のみに局部腐食が見られること。
- ② その大半は、取付バンドに覆われていた部分の鋼管杭

に見られること。
③ 水深の浅い取付バンド位置ではほとんど発生せず、比較的深い取付バンド位置に発生していること。

④ 港外側杭でも港外側面(カーテンウォール版取り付け側)に集中していること。

メカニズムは不明であったが、①②の状況から、取付バンドが局部腐食の発生に何らかの影響を及ぼしていることは容易に想像がついた。

しかし、一般的傾向として水面直下の腐食量が多いのに対して③の状況は考えにくいことや、取付バンドでも位置に限られる④の状況も原因は不明であった。

局部腐食の一般的な原因

局部腐食の原因には、例えば次のようなものが挙げられる。

- 1) 水面直下の集中腐食
 - 2) 異種金属腐食
 - 3) 河川水の混入
 - 4) 海生生物の着生
- しかし、対象施設の局部腐食の

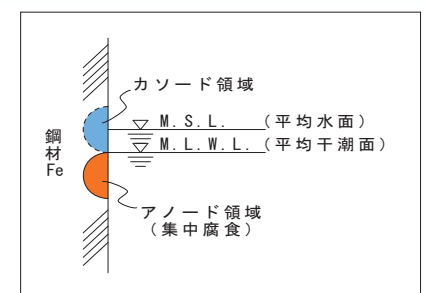


図2 集中腐食の模式図

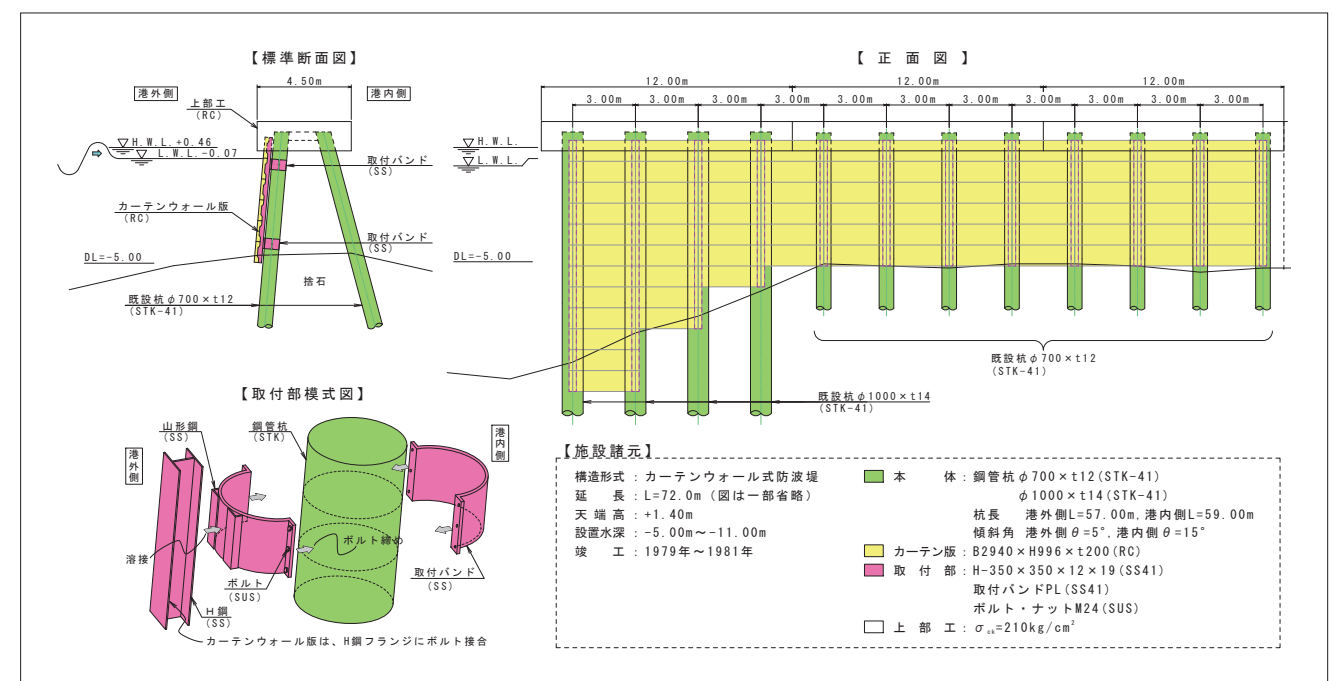


図3 対象施設の説明図

発生状況や、周辺施設の腐食状況も検証の結果、1)~4)のいずれも、今回の局部腐食の支配的原因ではないと判断した。

局部腐食の原因推定1

このように、通常と異なる腐食形態であることから、腐食原因を根本から考え直す必要が生じた。

局部腐食(マクロセル腐食)となる条件は、アノード/カソードが固定化されることであるから、その固定化される要因を探る必要がある。ここでヒントとなったのは、腐食という酸化・還元反応において、酸素が不足する領域がアノードとなることである。

腐食状況を踏まえると、局部腐食の原因は次のように考えられた。

- 鋼管杭の一部が取付バンドで覆われることにより、覆われた部分では恒常的に海水循環が悪化し、周辺部に比べて貧酸素化する。

- これによりアノードに固定化され続けたために、マクロセル腐食となった。(図5)

このメカニズムであれば、腐食状況①②の説明ができる。

局部腐食の原因推定2

取付バンド箇所のうち、局部腐食が発生した水深の深い位置と、発生していない浅い位置について、その置かれていた環境の差に着目した。すると、局部腐食が発生した箇所は、カーテンウォール版が脱落せずに残っていた箇所と一

致することが判明した。さらに材料学の研究事例から、腐食環境下で繰り返し応力が作用すると局部腐食を起こすことが判った。これらをヒントに、次のように考えた。

- カーテンウォール版の存在により、波圧は取付バンド箇所に集中して作用する。

- 発錆面に応力が繰り返し作用し続けることにより、被膜効果を持つ発錆面が破壊(活性化)され、再びアノードとなることで腐食が助長される。(図6)

このメカニズムによって、腐食状況③④の説明が可能となる。すなわち、水深の浅い部分では、カーテンウォール版が脱落したがために、繰り返し応力が軽微となり、著しい腐食に発展しなかった。一方

で、カーテンウォール版が最後まで残っていた比較的水深の深い部分では、波圧による繰り返し応力が作用し続けたため、腐食が進行した。港内側面より港外側面の腐食が著しかったのは、港外側面により大きな波圧が作用するためである。

対策

以上の2点を支配的な腐食原因と捉え、対策はそれらの腐食要因を排除すべく、カーテンウォール版の取り付け構造や腐食環境の改善策(防食工)を提案した。

まとめ

本稿では、局部腐食の発生事

例とその原因推定について紹介した。本事例のような隠れた腐食は、非常にやっかいである。施設の維持管理中の点検等であれば、通常、部材の撤去や取り外しを伴わないため、隠れた腐食の発見は困難である。また、本事例のように補修工事中に隠れた腐食が発見された場合、工事中のため早急な対応が必要である。本稿で原因を“究明”ではなく“推定”と称しているのは、補修工事中に発見されたため十分な調査が行えず、定量的評価や実験等による裏付けが伴っていないためである。

このように、港湾構造物の腐食実態には未解明なところも多いが、その分チャレンジングな分野ともいえ、維持管理・補修プロジェクトが一層活発化される中、研究・開発等積極的に取り組んでいきたい。

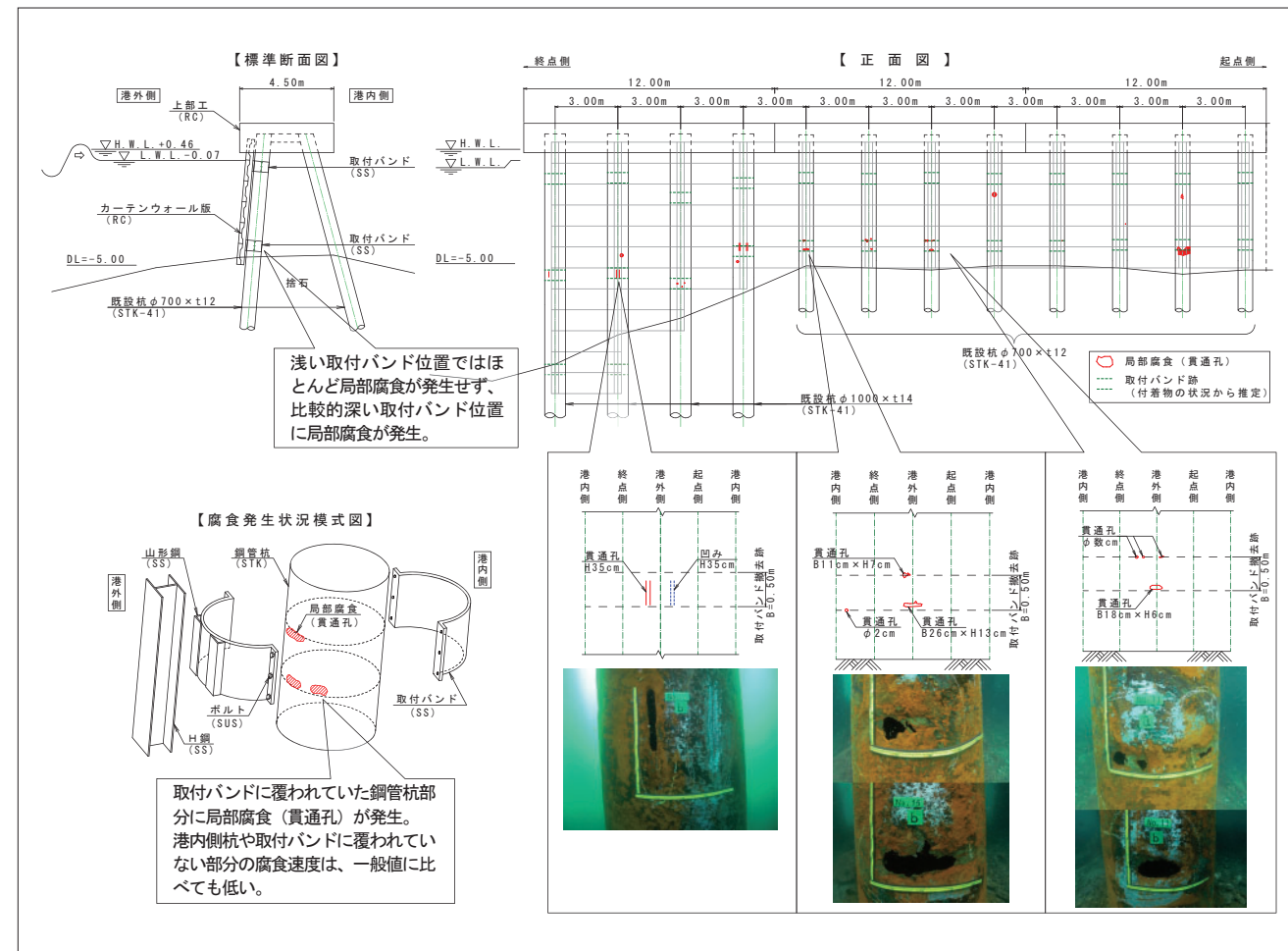


図4 腐食状況図

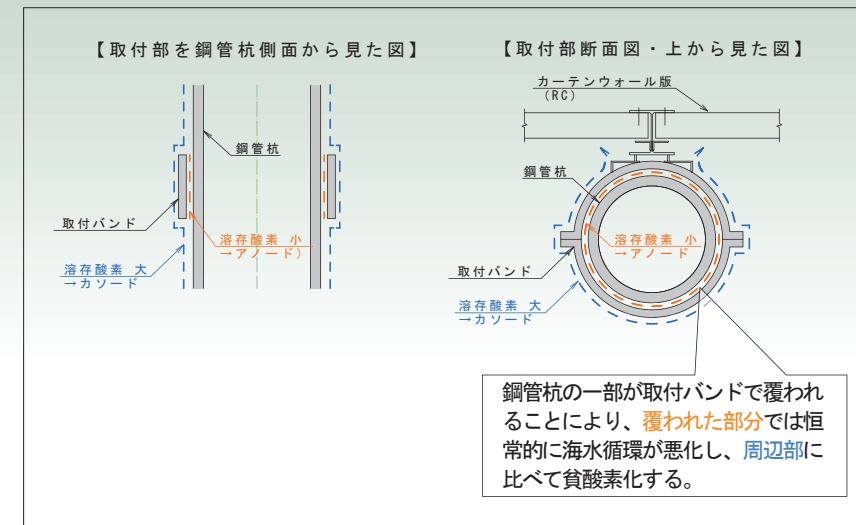


図5 腐食メカニズム1

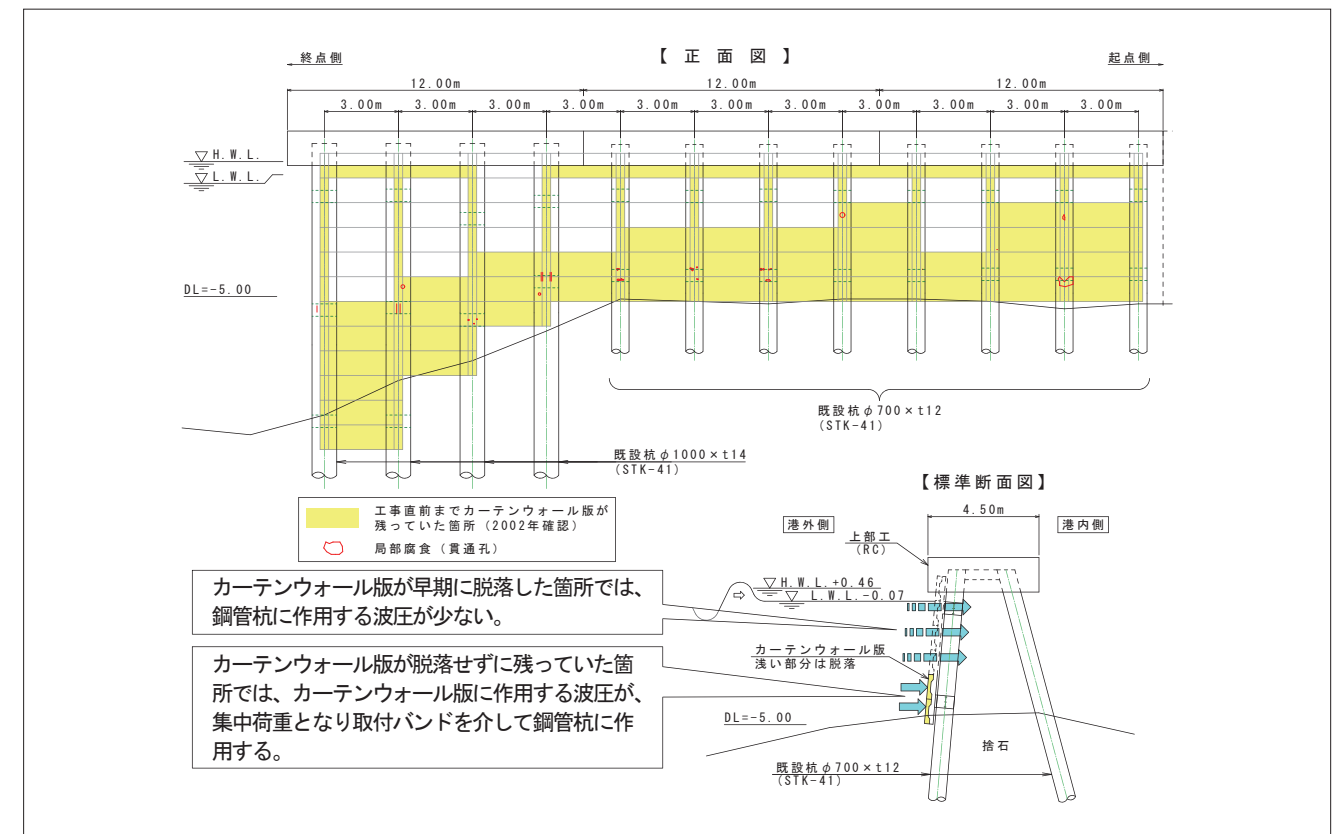


図6 腐食メカニズム2