

環境にやさしく，さびにくい

新しいステンレス不動態皮膜強化手法による 水門設備の防食技術

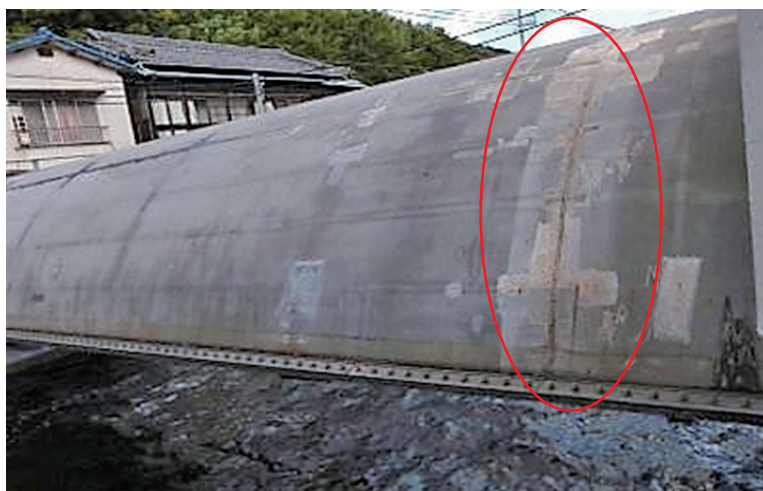
近年，水門設備にステンレス鋼が用いられることが多くなっているが，部位によっては腐食が起こる箇所もある。このため，耐食性の向上を目的とし，工場および現場での施工が可能で環境負荷が小さい不動態処理方法を開発し，実機での有効性を確認した。

株式会社 IHI

技術開発本部 生産技術センター

生産基盤技術部

井合 雄一



ステンレス製水門設備のさび

水 門

水門は河川または水路を横断するかたちで設置し，水の流れや量を制御したり，利用したりする設備である。河川などの分流のために設けられる分流水門，ダムや湖の水位操作のために設けられる調節水門，高潮による河川の水位上昇や津波，洪水を防ぐために設けられる防潮水門，本川の水が支川に逆流するのを防ぐために設けられる制水門などの種類がある。

現在，日本で設置されている水門の種類としては，スライドゲート，ローラゲート，マイタゲートなどがある。スライドゲートは両端の溝にはまった扉が単純にゲートを上下する。ローラゲートは扉の両端のローラを使って扉が滑らかに上下に動くようにしたもので

あり，大きな水圧が掛かる大規模な水門にも利用できる。また，シールが容易で信頼性が高いため河川構造物ではよく用いられている。スライドゲート，ローラゲートともに扉の開閉機構は，主にワイヤーロープウインチ式が用いられる。マイタゲートは観音開き構造になっており，水圧が掛かると開閉が難しくなるが，上部に構造物がなくてもよいので，背の高い船舶が通過する運河などで利用されることが多い。

そのほか，株式会社 IHI インフラシステムが独自に開発したドルフィンゲートという形式もある。ドルフィンゲートは半円筒形の扉を回転させることで流量や水位を調節する方式である。ローラゲートのように上部に門柱がなく全体が低い位置に納まるため景観を損なうことがない。

	無処理	不動態処理 (従来手法)	不動態処理 (新手法：浸漬)	不動態処理 (新手法：ゲル)
試験前				
試験後				

不動態処理方法による腐食状況の比較

ステンレス製水門設備の腐食

近年、ランニングコストの低減、維持管理性向上のニーズから水門設備にステンレス鋼が用いられることが多くなっている。

ステンレス鋼はもともと、クロムの酸化物と水酸化物の2層から成る不動態皮膜が形成されることにより、通常の鋼材に比べ耐食性が高い。しかしながら、汽水河口域や融雪剤を使用する山岳ダムなどの塩害環境にある水門では、ステンレス鋼を用いても、場所によっては孔食と呼ばれる表面で発生する虫食い状の腐食や隙間腐食、応力腐食割れなどが発生し、補修が必要となる場合がある。

水門設備の不動態処理

このため、水門には不動態処理を施して耐食性を高める工法を用いる。

水門設備の製作工程は、一般的に工場では機械加工



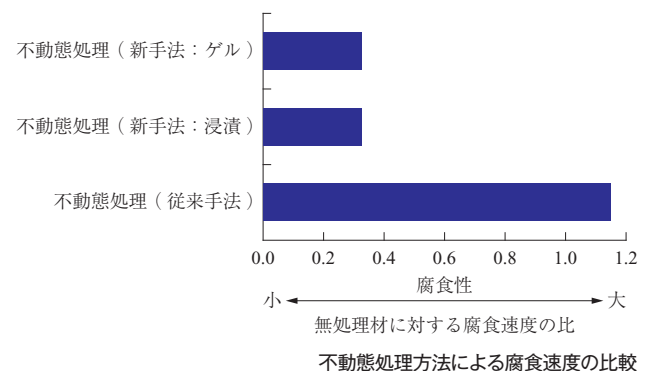
過酸化水素水ゲルの塗布状況

→酸洗い→不動態処理、現地では部品組立・溶接→グラインダ仕上げ研磨から構成される。ステンレス鋼はもともと表面に不動態皮膜が形成されることにより高い耐食性を有する。しかしながら、機械加工および研磨加工などを行うと、施工部分の不動態皮膜が除去されるため腐食しやすくなる。工場では機械加工後の不動態処理により加工部分の腐食は抑えられるが、現場ではグラインダ仕上げ研磨以降は酸洗いが難しい環境であるため、腐食しやすい環境にあるといえる。

水門設備などの大型ステンレス製品に適用できる不動態処理手法として、これまでは硝酸やクロム酸中での浸漬処理が一般的に用いられてきた。しかしながら、強酸性溶液を用いるため環境負荷が大ききという課題があった。そこで今回、環境負荷が小さく耐食性に優れた不動態処理方法を開発し、この問題を解決した。

低環境負荷の不動態処理方法

従来 of 不動態処理に用いられてきた硝酸に代わる処理液として過酸化水素水を用いた。過酸化水素水は弱酸性 (pH 5 ~ 6) で不安定な物質であり、有機物や鉄

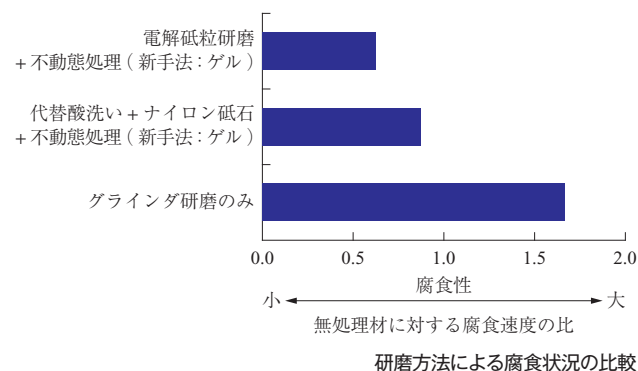


分と反応することで無害な水と酸素に分解する性質がある。また、ステンレス表面のクロムと反応することで耐食性を担うクロムの酸化物と水を生成する。さらに、生成物が無害な水と酸素であることから、工場内のみならず、河川や海洋への流出が懸念される現場での処理も可能である。

過酸化水素水の有効性を確認するために、過酸化水素水中に浸漬させた SUS304 試験片について塩害環境を模擬した孔食促進試験を実施した。この結果、過酸化水素水による処理方法は無処理材および従来の処理方法に比べ耐食性に優れていることが確認された。

施工性向上に向けた処理方法

過酸化水素水が耐食性向上手法として有効であることが分かった。しかしながら、現場作業においては鋼材を処理液に浸漬することはできず、また、処理液をそのまま鋼材に塗布しても、対象面に処理液が固着できず、耐食性の向上に必要な不動態皮膜の形成が不十分になる可能性が高い。そこで過酸化水素水に増粘剤としてカルボキシメチルセルロースナトリウム (CMC) を配合し、粘性を付与させることで安定した固着ができる過酸化水素水ゲルを開発した。試験片を用いて液だれ試験を実施したが、過酸化水素水ゲルは試験片を立てた状態で、はけを用いて塗布しても液だれすることなく、約 2 時間の処理時間中湿潤した状態を維持することが確認できた。また、SUS304 試験片を用いて前項と同様の孔食促進試験を実施し、耐食性を評価した。腐食速度の比較を実施した結果、過酸化水素水浸漬の場合と同等の耐食性を示し、CMC による過酸化水素水ゲルが使用可能であることが明らかになった。



酸洗いおよびグラインダ研磨の代替処理

低環境負荷の不動態処理工法を開発した。しかしながら、不動態処理の前工程として行われる酸洗いも、従来の工法では、強酸性の液を使用するため環境負荷は大きい。また、現場作業ではグラインダ研磨により形成された不動態皮膜が剥がされてしまい、再度、酸洗いおよび不動態処理が必要となる。そこでこれら一連の工程の代替案として、酢酸やクエン酸、リンゴ酸などの低環境負荷の弱酸性水溶液による酸洗いと、ナイロン砥石による物理的研磨を同時に実施し、その後過酸化水素水ゲルにより不動態処理を行う方法を考案した。

種々の弱酸性の薬剤を検討した結果、食塩とリンゴ酸とを混合したものが最も有効であることが明らかになった。また、不動態処理においても過酸化水素水ゲルにリンゴ酸を混入させることにより、耐食性が向上することも明らかになった。

電解砥粒研磨を用いた酸洗い・研磨代替処理

酸洗い代替処理液として食塩とリンゴ酸混合液が有効であることが明らかになったが、ナイロン砥石による物理的研磨ではナイロン砥石の研磨状態により耐食性にバラツキがでることが分かった。そこで化学作用をより促進させるとともに、安定した物理的研磨ができる方法として電解砥粒研磨手法に着目した。電解砥粒研磨は酸洗いと同等の働きをする電解研磨と機械研磨を併用した工法であり、前述の食塩とリンゴ酸の混合液を浸透させた不織布をステンレス研磨電極に取り付け、陽極通電をさせた状態で研磨する処理方法とした。この方法では従来の酸洗いのように鋼材を処理液に浸漬する必要がなく、現場での施工も可能になる。

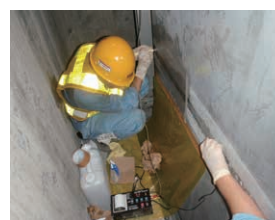
溶接焼けを模擬するために、600℃雰囲気下で熱処理した SUS304 試験片を用いて孔食促進試験を実施し、電解砥粒研磨の有効性を確認した。その結果、グラインダ研磨および代替酸洗いとナイロン砥石研磨処理よりも電解砥粒研磨の方が耐食性に優れていることが確認できた。



電解砥粒研磨状況

過酸化水素水ジェル塗布状況

ステンチェッカー測定状況



電解砥粒研磨機

過酸化水素水ジェル

ステンチェッカー

津軽ダム不動態処理施工状況



鶴田ダム不動態処理施工状況

実機への適用と効果検証

今回開発した手法はすでに津軽ダム（青森県）および鶴田ダム（鹿児島県）の水門に適用されている。

津軽ダムは扉体（2門，4.4 m²分）に施工されている。また、鶴田ダムは扉体1～3号それぞれの扉体の側面の端桁に施工されており、処理面積は5.19 m²となっている。

いずれのダムも各種処理をした箇所に対して不動態判別器を用いて評価したところ、電解砥粒研磨と不動態処理をした部位の耐食性が向上していることが確認され、施工後約1年以上経過しているが、外観検査においても腐食の発生は確認されていない。

今後の展望

ステンレス製水門設備の耐食性向上を目的とし、環境負荷が小さく、工場および現場でも施工可能な不動態処理方法の開発を行った。

今後は、現場施工向けの電解砥粒研磨条件である処理液の種類、濃度、処理時間などの適正化を行い、水門設備への適用事例を増やすとともに、ステンレス放流管にて多発している微生物腐食に対しても本手法の有効性を検証していく予定である。

問い合わせ先

株式会社 IHI

技術開発本部 生産技術センター 生産基盤技術部

電話（045）759-2810

<https://www.ihi.co.jp/>