

水門設備向け海生生物付着防止技術の開発

Development of Anti-Fouling Methods for Gate Facilities

福 島 憲 明	株式会社 IHI インフラシステム	水門技術部設計課	課長
高 遠 典 宏	株式会社 IHI インフラシステム	水門技術部設計課	
福 岡 麻 里	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	技術開発本部生産技術センター	生産基盤技術部	
赤 嶺 健 一	技術開発本部生産技術センター	生産基盤技術部	部長 博士（水産科学）

水門設備の維持・管理においては、付着する海生生物の清掃と処理に多大の労力と費用を要している。そこで微弱通電防汚システムと超音波防汚システムの2種の方法を開発し、基礎確認試験および実環境下での試験を実施した。この結果、適用箇所において付着防止効果が極めて高いことを明らかにし、水門設備に対しての有効性を見いだした。今後は水門設備に加えて火力・原子力プラントなどの導水管や海上風力設備や、浮き消波堤などの海上構造物への適用を検討していく。

In the maintenance and management of gate facilities, a large sum of money and labor are required to remove and clean organisms that attach themselves to the facilities. That is why we developed two anti-fouling systems, one that uses a weak electric current and another that uses ultrasonic waves. We carried out basic examinations and actual environment examinations to verify the effects of these methods. As a result, it has been confirmed that these methods effectively anti-foul the parts they are applied to, and that they can be used on gate facilities. In the future, we will evaluate their adaptability to aqueducts, such as those used in thermal and nuclear power plants, and marine structures, such as floating breakwaters, in addition to gate facilities.

1. 緒 言

河口付近に設置される堰^{せき}や水門といったゲート設備の維持管理においては、付着する海生生物の清掃と処理に多大な労力と費用を要している。フジツボなどの海生生物は、美観を損なうだけでなく、海生生物と鋼材の界面ではすき間腐食を発生させる。また、ゲート設備の戸当りに付着した海生生物は運転時に水密ゴムを損傷させるおそれがあり、その場合ゲート設備の機能性を著しく低下させる。

海生生物の付着防止対策としては、主に化学的、物理的、機械的といった3種類の方法がある。化学的方法としては、過酸化水素水の注入、防汚塗料の塗布などが、また物理的方法としては、紫外線照射、温水処理などが、機械的方法としては、除貝フィルタ、高圧洗浄機などが挙げられる^{(1) (2)}。しかし、これらの方法はいずれも効果の持続性、施工性、コスト、環境負荷などの課題をもつ。

このたび、環境に影響を与えることなく海生生物の付着を防止できる画期的なシステムを開発した。このシステムは、第1図に示すように、水門設備の構造・形状に合わせて2種の手法を使い分ける。狭あい部や複雑な形状箇所がある側部戸当り（特にステンレス鋼材）を対象とし

た海水あるいは汽水に通電することによる酸素消費反応を利用した微弱通電防汚システムと、大面積をもつ扉体を対象とした超音波キャビテーションを利用した超音波防汚システムである。これらの手法は、環境に優しく、長期間の性能維持を可能にする。

本稿では、開発した海生生物付着防止システムの概要と試験片での基礎確認試験から実環境下で実施した1年にわたる確認試験の結果について述べる。

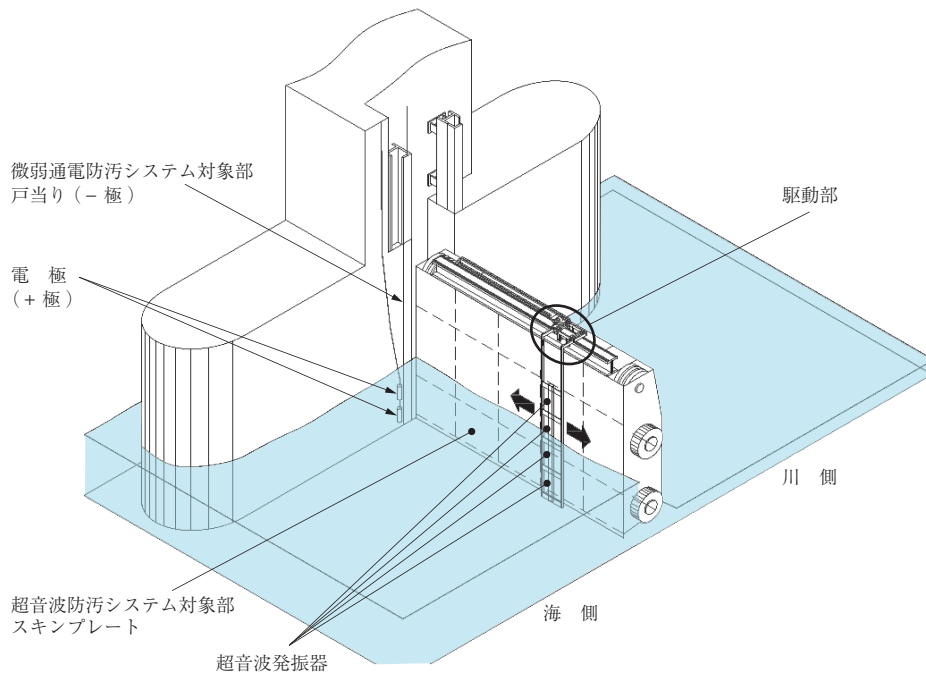
2. 微弱通電防汚システム⁽³⁾

2.1 原理とシステム構成

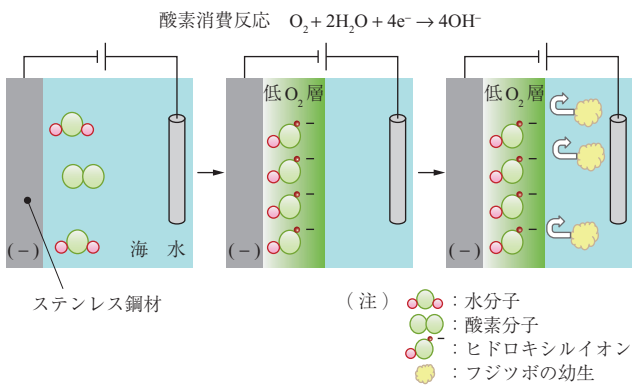
微弱通電防汚システムは、不溶性電極と定電流直流電源装置で構成される。対象部近傍に設置した不溶性電極を陽極として電流を対象部（陰極）に流し、酸素消費反応によって、対象部の極表面層（ネルンスト拡散層）を低酸素環境とさせ、対象部における海生生物の付着を防止する（第2図）。

2.2 効果

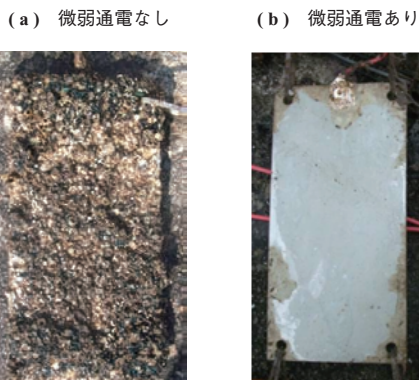
開発した微弱通電防汚システムについて、実環境下で生物繁茂期の約3か月間、生物付着防止効果の確認をした試験結果を第3図に示す。本システムを適用してい



第 1 図 海生生物付着防止技術のローラゲート水門への適用イメージ
 Fig. 1 Conceptual image of application of anti-fouling method for roller gates



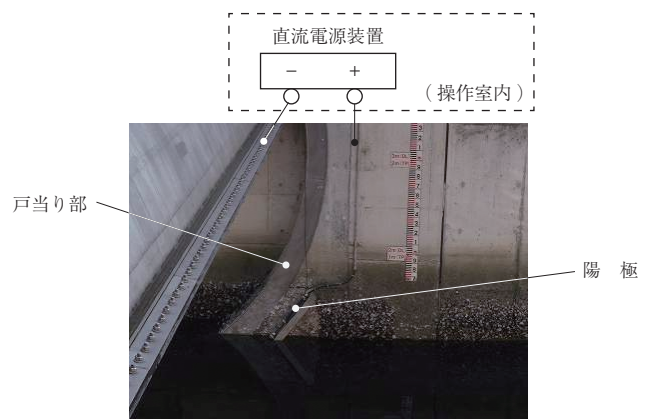
第 2 図 微弱通電防汚システムの付着防止原理
 Fig. 2 Principle of weak electric current anti-fouling method



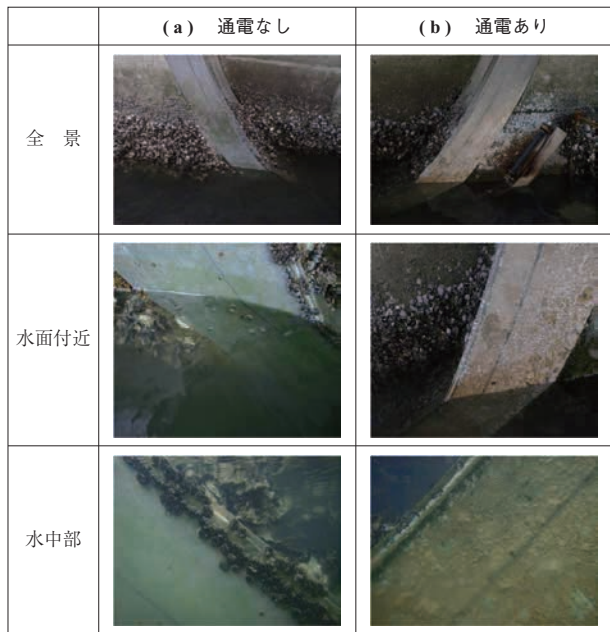
第 3 図 微弱通電防汚システムの生物繁茂期における試験片の比較結果
 Fig. 3 Result of immersion test for weak electric current anti-fouling method during growth period of attached organisms

ない試験片（試験片サイズ：150 × 300 × 2 mm，材質：SUS316）には，全面にフジツボなどの海生生物が付着していた（第 3 図 - (a)）。一方，適用していた試験片は，ほぼ海生生物が認められなかった（第 3 図 - (b)）。

次に，ライジングセクタゲートへの適用事例を第 4 図に示す。両側にある戸当りのうち，一方（左岸側）を通電（本システムの適用）あり，他方（右岸側）を通電（本システムの適用）なしとして，1 年間運転を継続した。この結果として，付着した海生生物の有無の比較を第 5 図に示す。第 3 図に示した試験片の結果と同様に本システムを適用しない右岸側戸当りには，フジツボなどの海生生物が付着していた（第 5 図 - (a)）が，本システム



第 4 図 ライジングセクタゲートへの適用事例
 Fig. 4 Example of application to a rising sector gate



第 5 図 微弱通電防汚システムの 1 年後の結果

Fig. 5 Result of immersion test after application of weak electric current anti-fouling method for one year

を適用した左岸側戸当りには、海生生物の付着がほぼ認められなかった（第 5 図-(b)）。

両者の相違は顕著であり、この試験結果から、本システムが非常に優れた海生生物の付着防止効果をもっていることが確認できた。

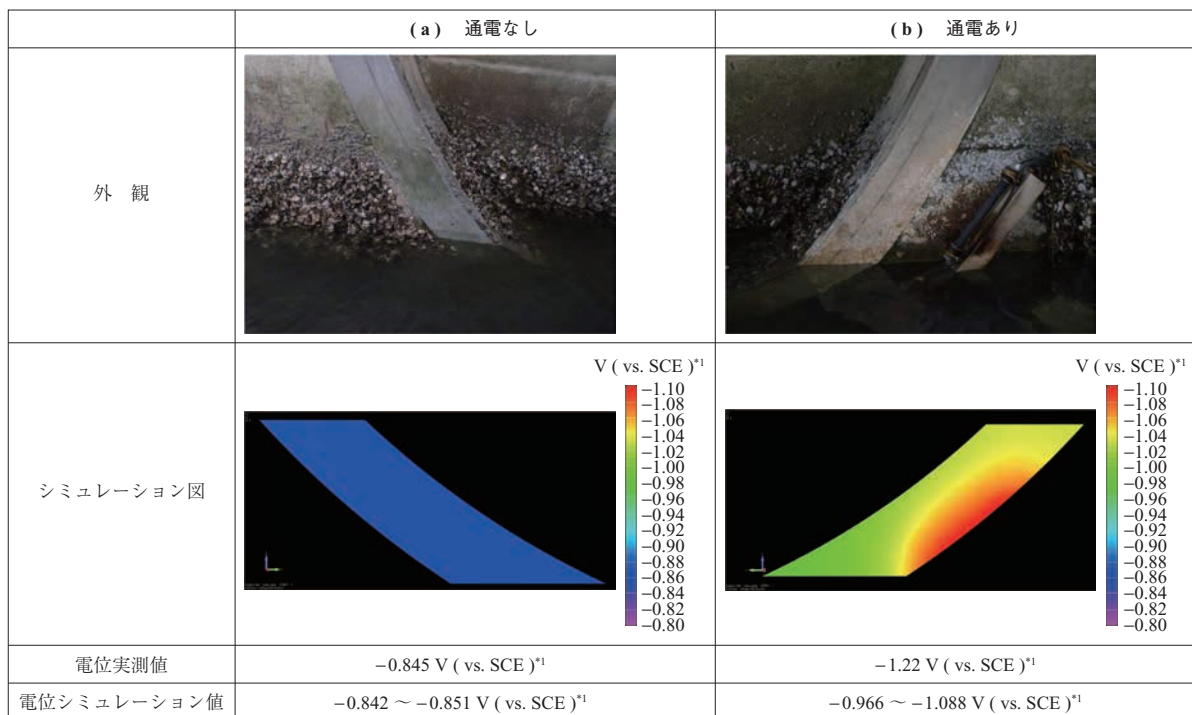
さらに対象とした設備への通電状態を数値解析（FEM 解析）によって可視化した結果を第 6 図に示す。実測した電位測定値とほぼ一致しており、FEM 解析によるシミュレーションは、電位分布の予測に有効なツールである。また、この数値解析では、電流密度分布の推定も可能なことから、通電条件の試験データと組み合わせることによって、対象設備での電極配置を検討する際に有効であることが確認できた。

第 7 図に、材質が SUS304 である試験片（試験片サイズ：150 × 300 × 2 mm）を生物繁茂期に海中浸せきさせた結果を示す。全面に付着した海生生物を除去すると、フ

(a) 浸せき試験片 (b) 付着生物除去後の試験片 (赤枠内は孔食部) (c) 孔食部拡大



第 7 図 SUS304 試験片の海中浸せき結果
Fig. 7 Sea immersion result of SUS304 specimen



(注) *1: 飽和カロメル電極 (SCE) を基準にして測定

第 6 図 通電状態の数値解析結果

Fig. 6 Numerical-analysis result while electric current is flowing

ジツボが付着した箇所の下では、孔食が発生していることが分かった（第7図-(b), -(c)）。一方、本システムを適用した試験片では、海生生物が付着しないため、そのような腐食は起こっていなかった（第3図-(b)）。以上の結果、本システムは、孔食（すき間腐食）を防止する効果があることを確認できた。

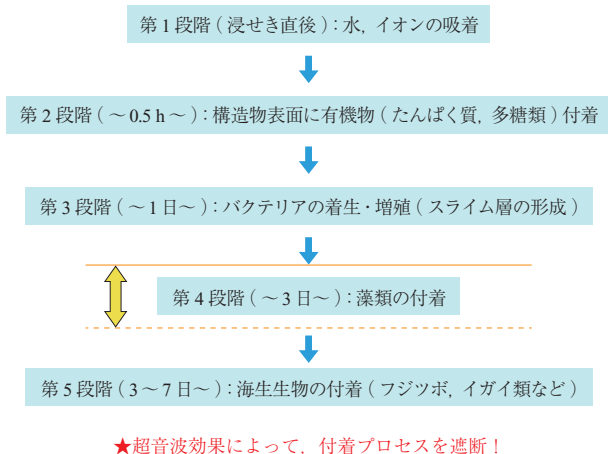
3. 超音波防汚システム⁽⁴⁾

3.1 原理とシステム構成

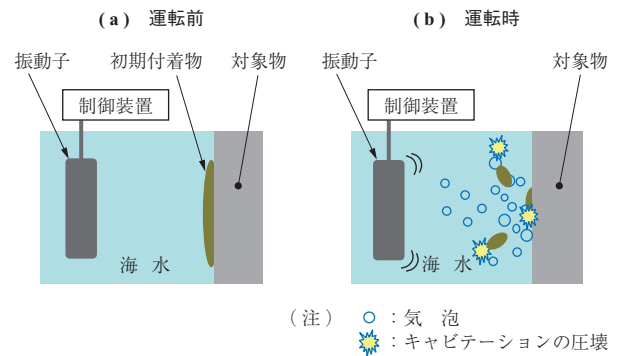
海生生物の付着プロセスを第8図に示す⁽⁵⁾。海生生物の付着プロセスとしては、はじめに、構造物の表面に有機物（たんぱく質、多糖類）が付着し、この有機物にバクテリアが着生・繁殖する（第1段階～第2段階）。次にこのバクテリア層に海中の有機物などがさらに付着し、スライム層を形成する（第3段階）。この状態には、有機物が付着してから1日以内で達するとされている。続いてスライム層の上に藻類が着生し（第4段階）、フジツボやイガイ類など海生生物の幼生が付着・繁殖・成長するとされる（第5段階）。

一方、超音波は、洗浄分野において一般品から電子部品まで幅広く展開されている。付着した汚れや対象物に合わせて使用する周波数を変えており、低周波数の場合は、主にキャビテーションの衝撃波を用いて、高周波数の場合は、水の振動をさせることによって、付着した汚れを除去する。そこで、開発した超音波防汚システムは、この洗浄力を利用し、上述の付着プロセスのスライム層の過程で超音波を照射することで、その後の海生生物の付着・繁殖を防止するというものである（第9図）。

構成は超音波振動子と制御装置から成る。



第8図 海生生物の付着プロセス
Fig. 8 Adhesion process of oceanic organisms



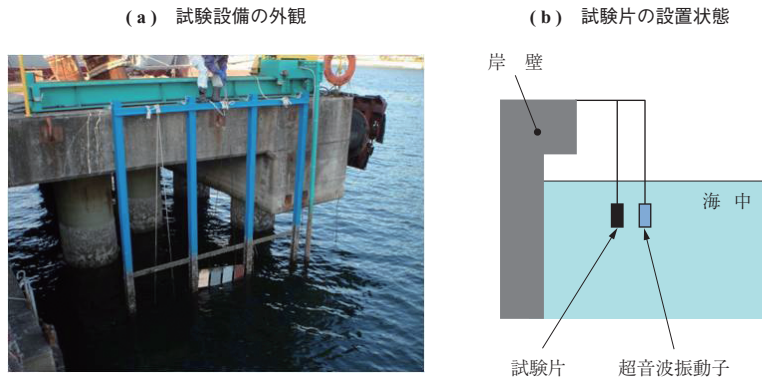
第9図 超音波防汚システムの付着防止原理
Fig. 9 Principle of ultrasonic anti-fouling method

3.2 効果

ステンレス鋼材2種類（SUS316, SUS304）に加え、機械工事塗装要領（案）・同解説（2010年4月）に規定される新設塗装系のうち、ゲート設備に適用実績の高い材質6種の全8種（第1表）を試験片（試験片サイズ：200×300×1.6mm）とした。第9図に超音波防汚システムの付着防止原理を示す。第10図に超音波防汚シス

第1表 供試材料一覧
Table 1 Material list for test

	工程	塗料系統
No. 1 要領（案） A-1 対応	1層目	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー
	2層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	3層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	4層目	エポキシ樹脂塗料上塗
No. 2 要領（案） A-2 対応	1層目	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー
	2層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	3層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	4層目	ふっ素樹脂塗料上塗
No. 3 要領（案） A-3 対応	1層目	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー
	2層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	3層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	4層目	ポリウレタン樹脂塗料上塗
No. 4 要領（案） B-1 対応	1層目	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー
	2層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
	3層目	エポキシ樹脂塗料下塗（水中部用）
No. 5 要領（案） D-1 対応	1層目	ガラスフレーク含有塗料用下塗
	2層目	ガラスフレーク含有塗料（ビニルエステル）
	3層目	ガラスフレーク含有塗料（ビニルエステル）
No. 6 要領（案） D-2 対応	1層目	エポキシ樹脂系ジンクリッチプライマー
	2層目	ガラスフレーク含有塗料（エポキシ系）
	3層目	ガラスフレーク含有塗料（エポキシ系）
No. 7 SUS316	-	塗装なし
No. 8 SUS304	-	塗装なし



第 10 図 超音波防汚システムの試験状況
Fig. 10 Ultrasonic system test environment

ムの試験状況を示す。本試験設備を用いて、これらの試験片に対し、1年間欠的に超音波照射を継続した。1年後の試験片の海生生物付着状況を第 11 図に示す。

本システムを適用しない試験片には、フジツボなどの海生生物が試験片全体に付着していた。一方、本システムを適用していた試験片では、生物付着は顕著に抑制されている。一部の試験片では、試験片内に超音波が照射されていなかった部分があり、その部分は今回の評価対象外とした。塗装した試験片では、超音波照射由来の外傷・劣化は認められなかったことから、ステンレス鋼材に限らず、塗装材に対しても適用の可能性があると確認できた。

4. 結 言

本システムは海生生物付着の影響が大きいゲート設備への適用を目標として開発を進めた。この結果、微弱通電防汚システム、超音波防汚システムともに、海生生物の付着防止効果が極めて高いことが確認できた。

本システムは、河口付近に設置されるゲート設備に極めて有効であり、省力化による維持管理性向上およびコスト縮減が図れるとともに、景観性向上、環境負荷軽減に寄与できる。

また、同様な環境下におかれる火力・原子力プラントな

試験片 No.	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
初 期								
超音波防汚システムなし								
超音波防汚システムあり								

第 11 図 超音波防汚システムの 1 年後の結果
Fig. 11 Result of immersion test after application of ultrasonic anti-fouling method for one year

どの導水管や海上風力設備，浮き消波堤など，ほかの海上構造物にも適用可能であり，今後はさらに検討を加え，実機への適用を図っていく。

— 謝 辞 —

本海生生物付着防止技術の開発に当たっては，関係各位から多大なご指導とご協力をいただきました。ここに記し，深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) IHI：特許 4131055 赤嶺健一
- (2) IHI：特許 4126513 赤嶺健一，平井陽一，大川

原晃

- (3) IHI, IIS：特願 2010-176611 赤嶺健一，福岡麻里，福島憲明
 - (4) IHI, IIS, IHI AMTEC (現, JMU AMTEC)：特願 2010-289295 赤嶺健一，福岡麻里，福島憲明，高遠典宏，山田浩一郎
 - (5) 川辺充志：海洋生物の付着現象とその本質，海生生物付着防止装置 第 16 回日本海水学会 材料，構造物研究会資料 1991 年 5 月 pp. 1 - 29
- (IHI インフラ技報 vol.1 2012 pp. 115 - 119 より転載)