

海水揚水発電用水力機器の電気防食

Cathodic Protection of Hydraulic Machines for
Sea Water-Pumped Storage Plants

丹野和夫* 庄司三郎** 眞壁邑登**
Kazuo Tanno Saburô Shôji Kunitaka Makabe
浅井治* 長沼進*** 岡田昌康***
Osamu Asai Susumu Naganuma Masayasu Okada

One of the prerequisites for successful construction of sea water-pumped storage power plants is the protection of plant equipment from corrosion by sea water. Cathodic protection has been considered highly effective for preventing corrosion in sea water, but so far there have been no turbines protected by this method.

The authors conducted basic experiments in this respect to find out effects of the linear velocity of the sea water on electric current density and potential values with which cathodic protection can be achieved. In line with these experiments, the authors also installed a model turbine on the seaside in Hitachi city and using this turbine confirmed the effectiveness of cathodic protection.

1. 緒言

夜間の余剰電力の有効な活用を図るため、最近海水揚水発電の計画が進められているが、海水は河川水と異なり金属材料に対する腐食性が強いので、使用材料の腐食が一つの問題点となっている⁽¹⁾。その対策として耐海水鋼の開発、利用が検討されている一方、安価な炭素鋼に対する防食対策も重要視され、カソード防食が有望視されている。

このカソード防食法はすでに港湾施設などに広く実用されており、これに関する文献も多い。しかし、流動海水中のカソード防食に関しては二、三の報告⁽²⁾がみられるだけで、防食達成電位および所要電流密度については必ずしも明確ではない。さらに水車に実用した例として、フランス・ランス河口の潮力発電所の例⁽³⁾があるが、その詳細は不明である。水車のような複雑な形状の構造物では電極の配置や取付け方が問題になる。そこで、筆者らはまず人工海水を使用し、机上実験により防食電位および防食所要電流密度に対する流速の影響を求めるとともに、海水を通水したモデルポンプ水車に電気防食を適用することを試みたので、その概要を紹介する。

2. 流動水中での電気防食実験

2.1 実験方法

(1) 試験片の材質および試験溶液

実験に用いた試験片の材質は一般構造用圧延鋼材(JIS SS 41B)で、その定量分析結果は表1に示すとおりである。試験片は外径70mm、内径66mm、高さ25mmのリング状で、外周面が被試験面である。試験片を回転させながらエメリー6/0まで研磨し、アセトンで洗浄後秤量(ひょうりょう)して実験に供した。

* 日立製作所日立研究所 工学博士

** 日立製作所日立研究所

*** 日立製作所日立工場

実験には表2に示した組成の人工海水を調製し、カセイソーダでpHを 8.1 ± 0.1 に調整して使用した。この液の比抵抗はおよそ $25\Omega\text{-cm}$ であった。液は毎回12l使用し、また常に空気を通じて飽和させた。液温は 20°C に保った。

(2) 実験装置および実験方法

実験装置の略図は図1に示すとおりである。上述した試験片を回転軸の先端のベークライト製ホルダにゴムパッキンを介して取り付けた。対極は、試験片表面の電流密度分布が均一になるようにあらかじめ検討したうえで、内径94mm、高さ12mmの環状ホルダの内面に白金板を接着し、試験片と同心円になるように配置した。この対極の配置で平均電流密度 1.4mA/cm^2 の電流を流した場合の試験片の端部と中央部との電位差は約3mVと非常に小さかったので、試験片表面の電流密度分布は均一とみなした。実験に際しては試験片を浸せきすると同時に定電位電解装置を作動させて、飽和カロメル電極を照合極として測定した試験片の電位を所定の値に保持した。この実験では回転数から計算した見掛けの流速 $0 \sim 6\text{m/s}$ の範囲で実験した。実験終了後、試験片をクラーク液(HCl, 100g・Sb₂O₃, 2g・SnCl₂, 5g)により室温で1分間酸洗いし、腐食生成物を除去して腐食減量を求めた。

表1 試験片の定量分析結果(%)

TC	0.22
Si	0.25
Mn	0.48
P	0.025
S	0.018
Ni	tr
Cr	"
Mo	tr

表2 人工海水組成

NaCl	27.26 g/l
KCl	0.69
MgCl ₂	3.51
KBr	0.09
MgSO ₄	1.84
CaSO ₄	1.29
NaHCO ₃	0.11
pH=8.1±0.1に調整	

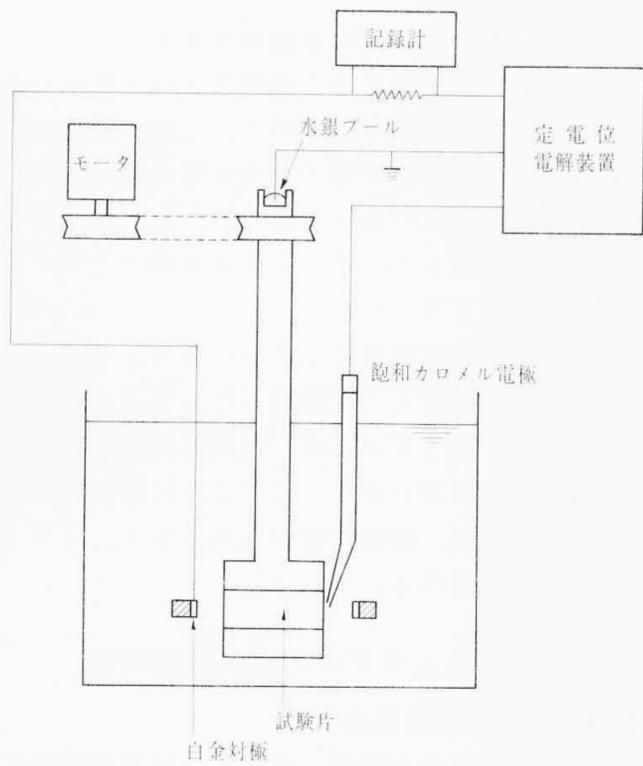


図1 実験装置略図

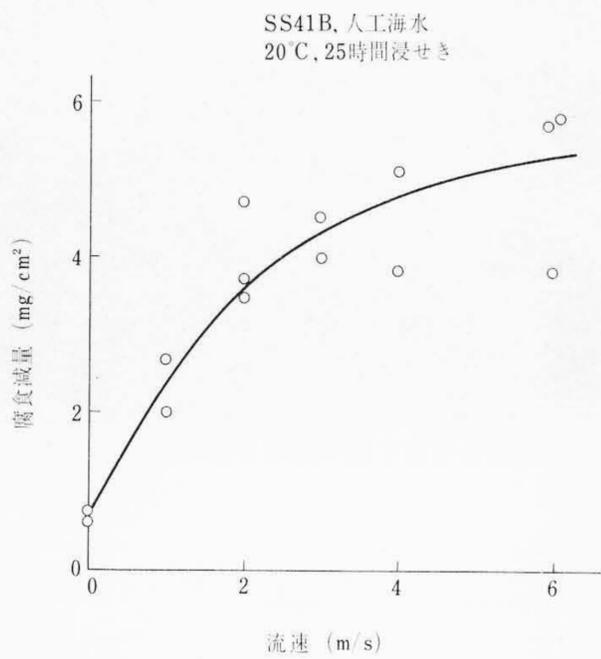


図2 自然腐食時の腐食減量

2.2 防食電位および所要電流密度

はじめに、カソード防食時の効果確認のために、自然腐食状態における腐食減量および電位を測定した。0~6m/sの流速で25時間浸せき後の試験片の腐食減量測定結果は図2に示すとおりである。結果は、かなりのばらつきがみられるが、低い流速では流速の増大とともに腐食減量も著しく増加し、高流速では流速の影響はしだいに小さくなる。このときの試験片の電位測定結果は図3に示すとおりである。いずれの流速においても電位は負の方向に変化したが、浸せき25時間後にはほぼ一定値に達した。その値は図示のように流速の増大とともに高くなる傾向を示した。

次に、試験片の電位を種々の値に設定し、静水中で50時間、流水中で25時間浸せき後の試験片の腐食減量を測定した。その結果は図4に示すとおりである。この図で90あるいは95と付記した線は図2の自然腐食時の腐食量をもととした防食率を示したものである。図4から防食電位と流速の関係を求めたのが図5である。

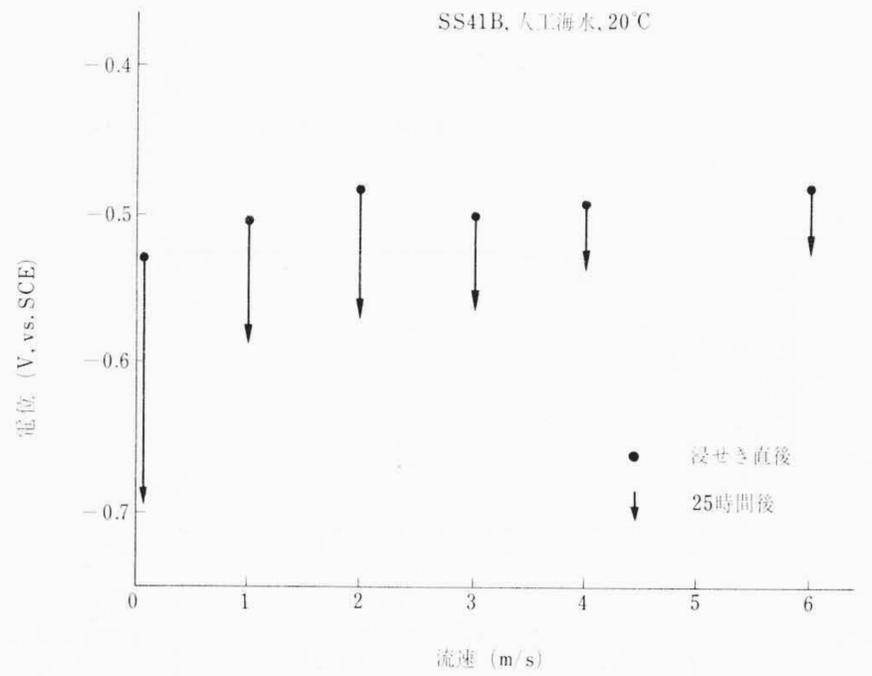


図3 流速と自然電位の関係

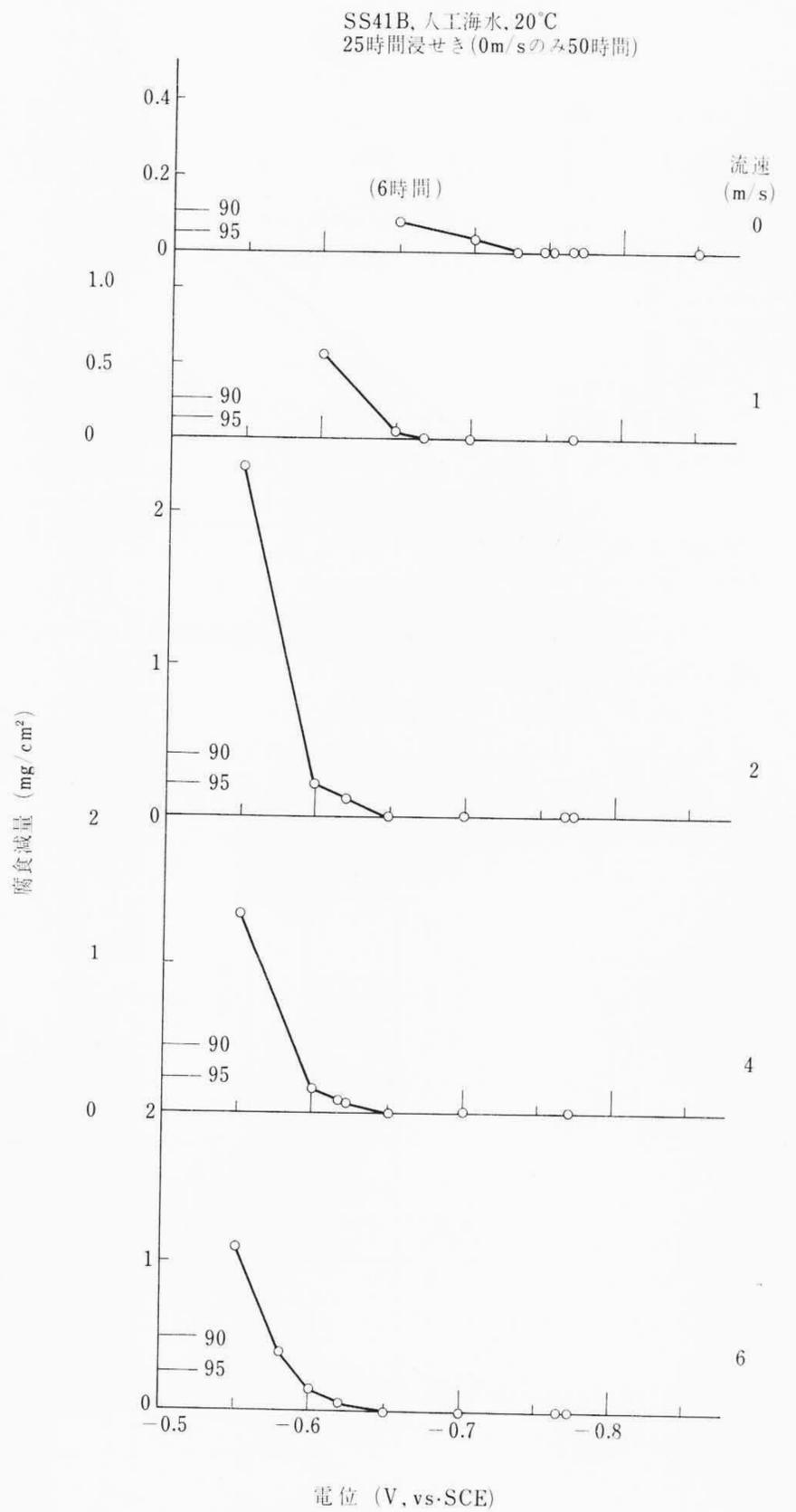


図4 設定電位と腐食減量の関係

0 m/sの防食電位は-0.73Vで、従来から鉄鋼の防食電位とされている-0.77Vとほぼ一致するが、1 m/sでは-0.67V、2 m/s

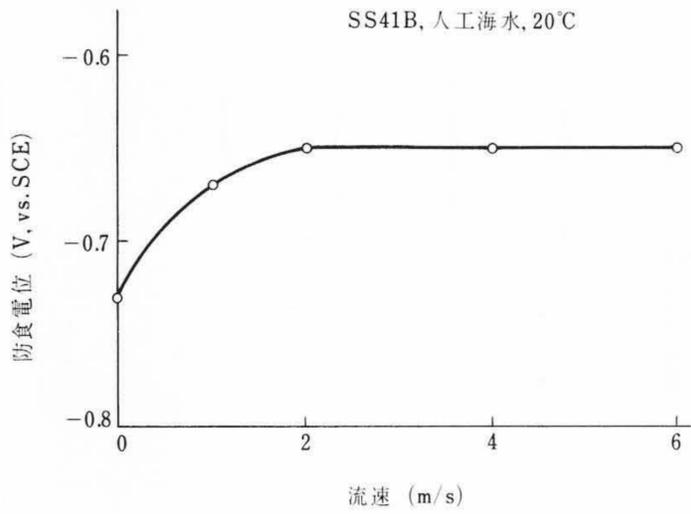


図5 流速と防食電位の関係

以上では $-0.65V$ で完全防食が達成される。
 カソード防食では金属をその局部アノード電位にまでカソード分極させれば防食が達成されるので、上述の結果から流水中においては局部アノード電位が高くなると考えることができる。また、自然電位が流速とともに高くなるのは、皮膜形成によりカソード分極が小さくなることと、このような局部アノード電位の上昇も影響しているものと考えられる。

防食電位における電流密度とさらに参考までに $-0.70V$ および $-0.77V$ における値をとり、流速に対してプロットすると図6のようになり、ばらつきがあるが、所要電流密度は流速とともに直線的に増大することがわかる。このように所要電流密度が流速とともに増大するのは、酸素拡散が容易になり、カソード分極が減少するためと考えられる。

3. モデル水車の電気防食

3.1 装置および実験方法の概要

茨城県・日立市浜の宮海岸に建設した臨海実験所にモデルポン

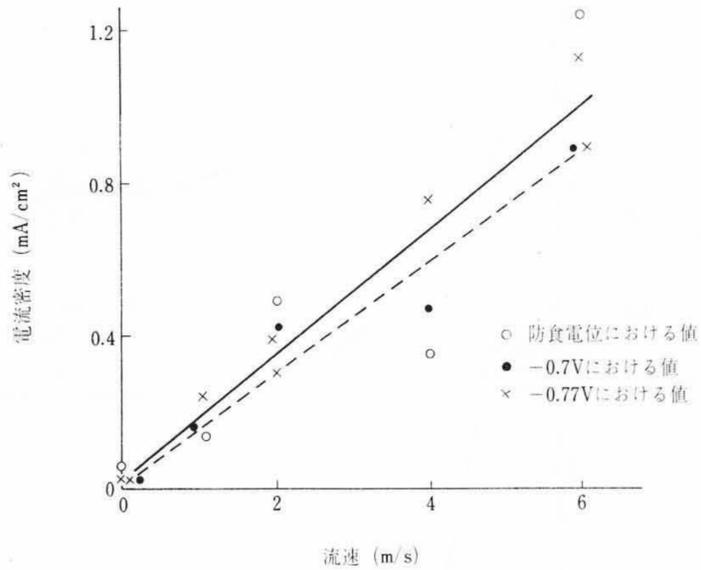


図6 流速と防食所要電流密度の関係

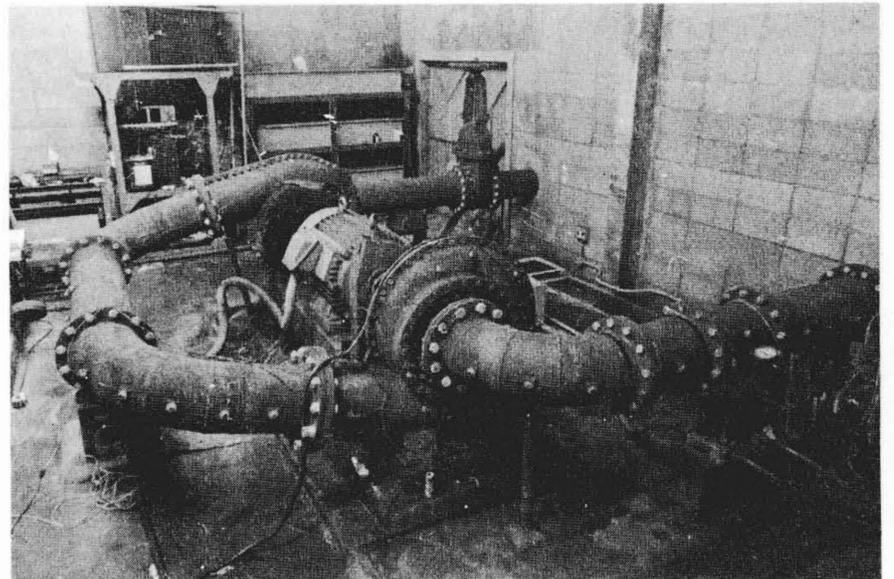


図7 カソード防食装置を組み込んだモデルポンプ水車の外観

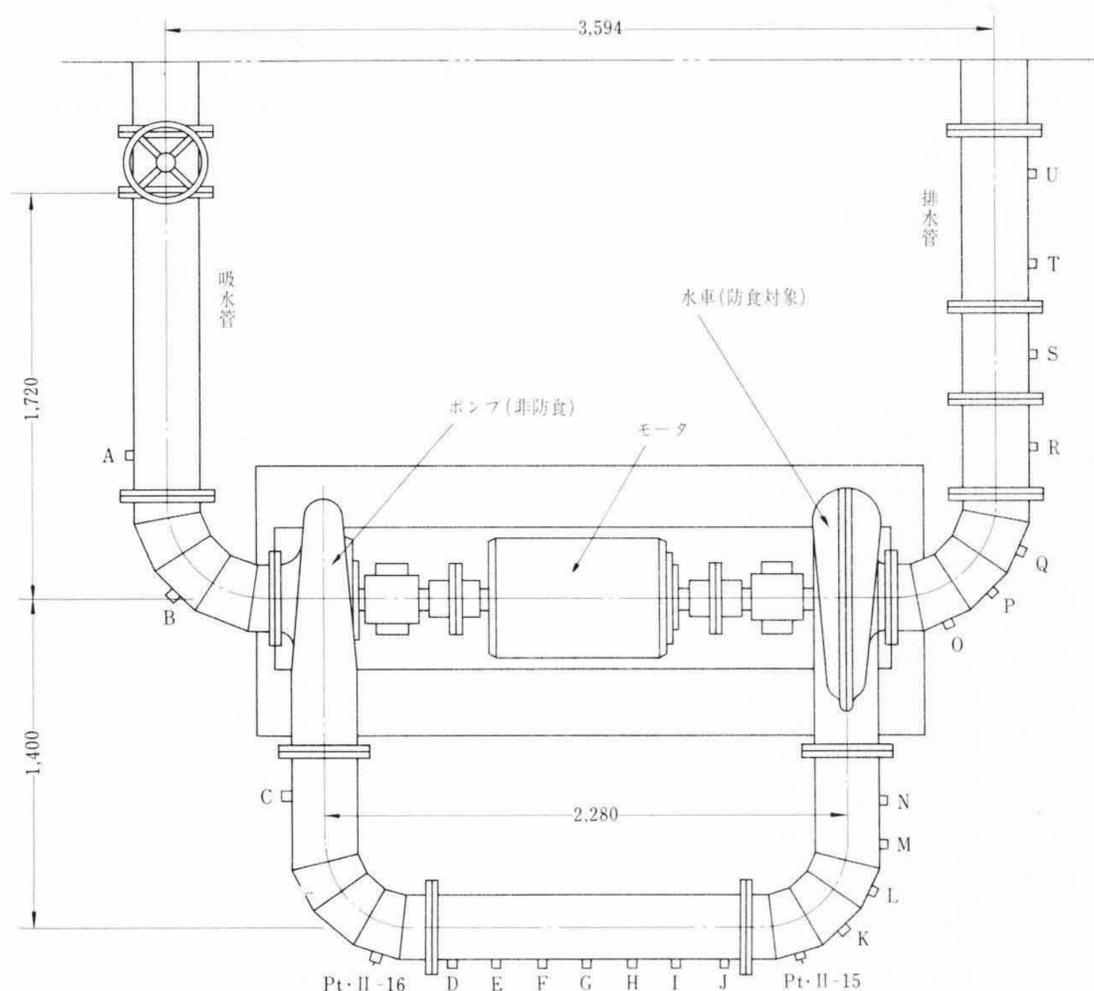


図8 モデルポンプ水車の概要および電極類の配置

注:本図はドラフトパイプ側より見た図
点線部はポンプ側に設置
実線部はドラフトパイプ側に設置
Z₁~Z₈:電位測定プラグ

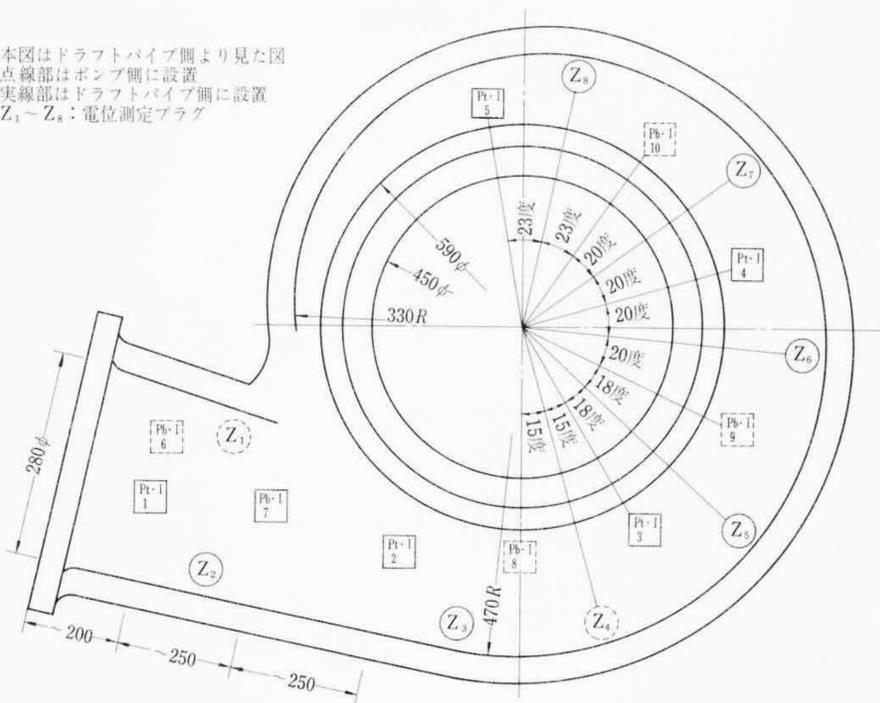


図9 水車ケーシングの電極および電位測定プラグ位置

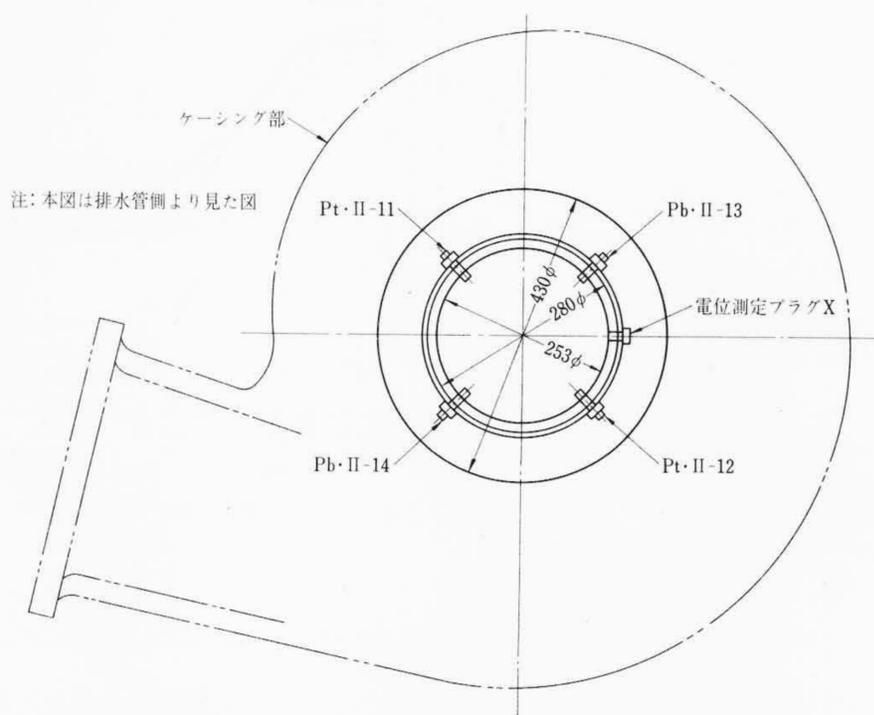
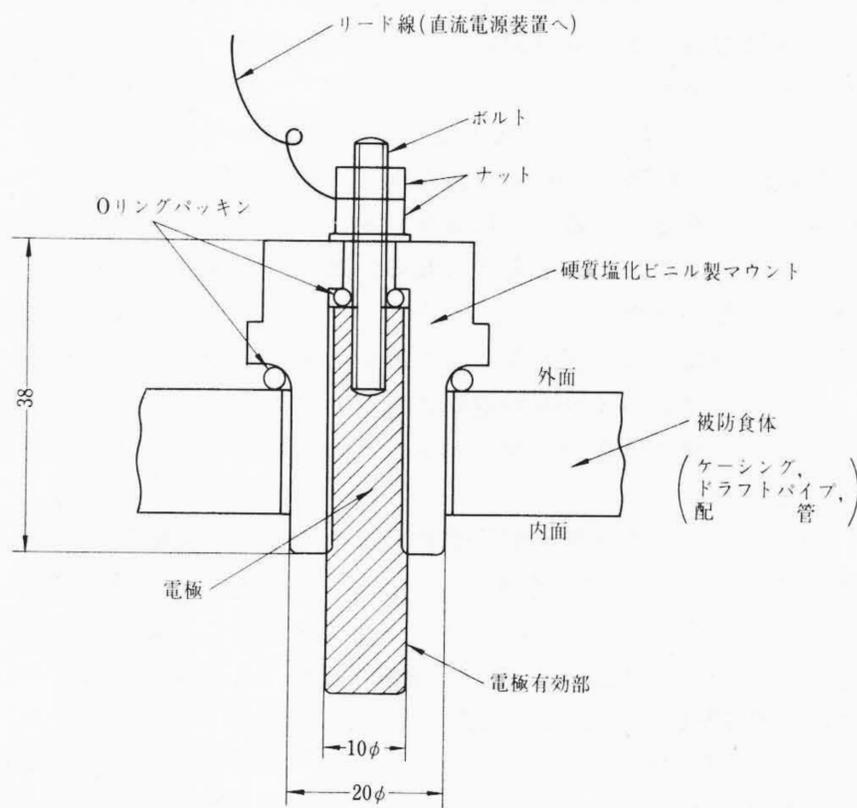


図10 ドラフトパイプ部の電極および電位測定プラグ設定位置

プ水車を設置し、天然海水を通水して外部電源方式による電気防食の実用化を実験した。モデルポンプ水車の外観写真は図7に、その概要は図8に示すとおりである。ポンプ水車のうち、下流側の水車とポンプ水車間の配管部および排出管をカソード防食実験の対象とした。水車ケーシング、ドラフトパイプおよび配管部における電極および電位測定プラグの配置は図9、10および図8に示すとおりである。不溶性アノードとしては白金めっき・チタニウム電極および鉛-銀合金電極を用いた(いずれも中川防食株式会社製)。その構造を示したのが図11である。取付け場所に応じて異なる大きさのものを用いたので、有効面積などをまとめたのが表3である。アノード本体は硬質塩化ビニル製マウントに取り付けて電極と被防食体とを電氣的に絶縁してある。水車ケーシング部にはPb-IおよびPt-Iをそれぞれ5個ずつ、ドラフトパイプにはPb-IIおよびPt-IIをそれぞれ2個ずつ、またポンプ、水車間の配管部にはPt-IIを2個設置した。電位測定プラグは硬質塩化ビニル製ケースにガラス製繊維を詰め、中央部の穴より海水がにじみ出るようにしたもので、測定時にキャップを取りはずしてここに飽和甘コウ電極の先端をあてて測定した。プラグの配置は図8、9および図10に示したように、ケーシングに8個(Z₁~Z₈)、ドラフトパイプに1個(X)、配管部に21個(A~U)を設けた。なおポンプ、水車および配管部ははじめ塗装した状態で実験された。

実験ではポンプ、水車に通水し、電極にいろいろの電流を流して防食達成に必要な電流密度および電流到達範囲などを求めた。



図中寸法はPb-I形
図11 電極形状および取付方法

表3 アノードの種類および有効部の大きさ

アノードの種類	略名	有効部		取付対象部	数(個)
		大きさ	面積(dm ²)		
Pb-Ag I形	Pb-I	10φ×20l	0.07	ケーシング	5
Pb-Ag II形	Pb-II	20φ×20l	0.16	ドラフトパイプ	2
Pt-Ti I形	Pt-I	10φ×10l	0.04	ケーシング	5
Pt-Ti II形	Pt-II	20φ×10l	0.09	ドラフトパイプ	2
				ポンプ水車間の配管	2

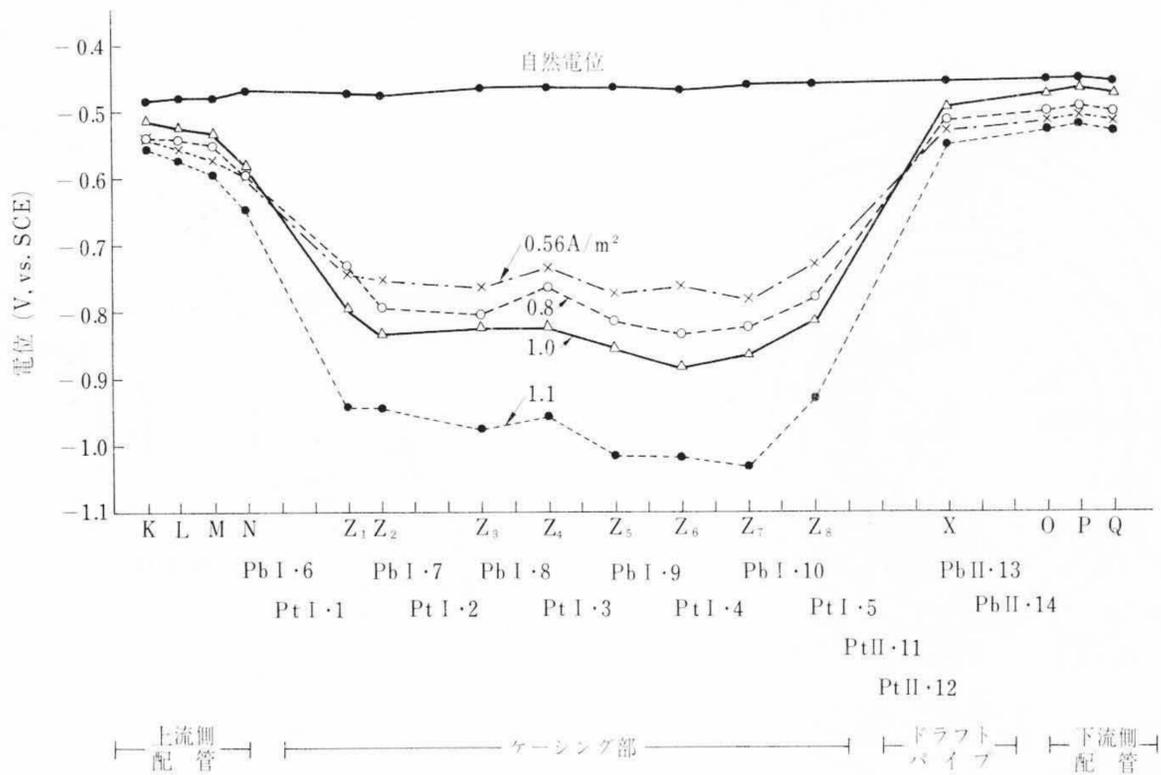


図12 ケーシング部に通电した場合の電位

3.2 所要防食電流密度

ケーシングの各電極に0.56~1.1A/m² (ケーシングに対する電流密度)の範囲で電流を流したときのケーシング部およびその前後の配管部における電位測定結果は図12に示すとおりである。図の横軸は電極および電位測定位置を表わしており、図には自然電位の測定結果も示してある。0.56 A/m²で-0.73~-0.78Vの電位を示し、これらはさきの机上実験値の流速4 m/sにおいて4.1~4.7 A/m²で-0.70V, 6.9~7.6 A/m²で-0.77Vであるのに比べ、約1/10の電流密度である。これはケーシング部内面の塗装がまだ十分な状態にあったためと考えられる。また、配管部の電位はあまり下がらなかったことから、ケーシング部への通电では配管部までは電流がほとんど届かなかったものと考えられる。

次にドラフトパイプ部の電極に通电して同様の検討をし、ドラフトパイプ部には2個の電極があれば全範囲をカバーできることがわかった。

次にポンプ、水車間の配管部に設置した2個の電極に通电し、電位を測定した結果は図13に示すとおりである。図の横軸に示した電極および電位測定位置の寸法は実際を縮尺してあり、電位測定プラグの間隔は200mmである。通电電流0.5Aでは、ほぼJ~L間が-0.7V以下となり、1.1AではこれがI~Mに広がっている。仮にこの間にだけ電流が流れたとすると、平均電流密度は0.7および1.0 A/m²であり、この場合にも机上実験の場合の数分の一の電流密度で防食が可能であることがわかった。このポンプ、水車間の配管部はケーシングおよびドラフトパイプと異なり内面仕上げが困難で表面があらく、塗装の密着性が悪いため運転開始後まもなくはがされてしまったが、その後生成したさび層のため、裸の鉄面に対するよりも防食電流密度が小さくなったものと推定される。

なお、以上の実験において電極には延べ約400時間通电したが、実験後いずれも異状は認められなかった。

4. 結 言

以上の結果をまとめると次のように結論される。

- (1) 20°Cの人工海水中に、円筒形試験片を見掛けの流速0~6m/s

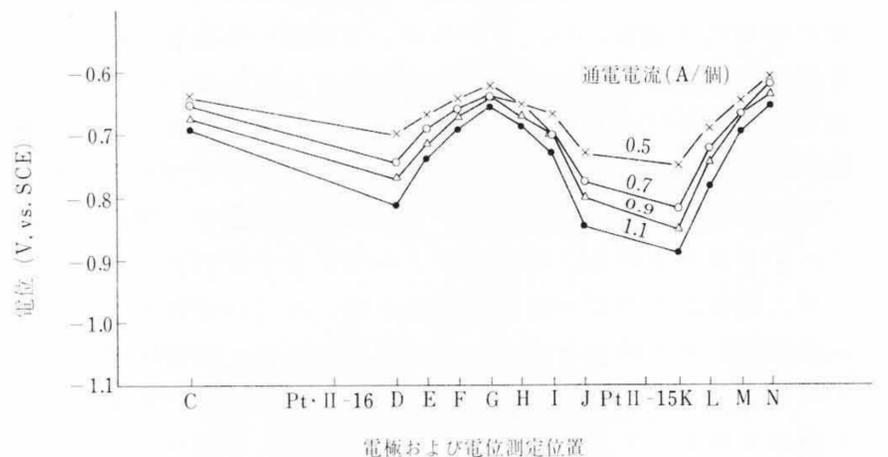


図13 ポンプ水車間配管部の電位分布

の条件で25時間浸せきした際の軟鋼の腐食減量は、流速の増大とともに放物線的に増加する。

- (2) 静止海水中の防食電位は-0.73Vで、一般に鉄鋼の防食電位とされている-0.77Vとほぼ一致するが、流速1m/sでは-0.67V, 2~6m/sでは-0.65Vで完全防食が達成される。防食所要電流密度は流速とともに直線的に増大する。
- (3) 臨海実験所に設置したモデルポンプ水車に電気防食装置を組み込み実験し、設計どおりの電極配置で防食が達成されることを確認した。被防食体に塗装が施されていると、また塗装しない表面でもさび層の形成のため、所要電流密度は机上実験の場合に比べて数分の一ないし十分の一程度となる。

終わりに本研究を実施するにあたりご援助いただいた日立製作所日立工場深栖技師長および日立研究所湊 昭、深井 昌の両氏に感謝する。

参 考 文 献

- (1) 丹野, 眞壁, 古谷, 川島, 防食技術 21, 219 (1972)
- (2) 齊藤, 重野, 熊谷, 防食技術 19, 302 (1970)
- (3) 松田, 日佛工業技術 11 (1) 29 (1965)