

# 港湾鋼構造物に於ける流電陽極に関する一考察

防食・補修工法研究会 柏木達夫

## 1. はじめに

港湾鋼構造物の防食に電気防食工法の流電陽極方式を適用する場合、適用するアノードの数量、質量、耐用年数および配置間隔は、豊富な施工経験により培われた蓄積技術に基づき決定されている。

これら設計因子の中で最も重要とされる配置間隔を決定する際のポイントは、対象鋼構造物に取付けるアノードが可能とする防食範囲である。これを知るには対象鋼構造物に於ける防食電位の分布状況を決定する電位減衰度と防食電位の境界範囲を正確に把握する必要がある。

これらは設計理論や維持管理論からも非常に重要な因子であるが、電位分布に影響を及ぼす因子が種々雑多である上に、これらが複雑かつ相互に絡み合い、解析が困難なため、従来あまり議論されていない。

そこで、コンピュータを使用する解析計算ではなく、簡易計算により電位分布の概要を推定できる様、影響因子を最小限に絞り込んだ数学的モデルを考える。

このモデルを適用し、流電陽極方式を適用した場合の港湾鋼構造物に於ける防食電位の電位分布および境界範囲を推定する。又、維持管理時の測定調査に於ける防食対象鋼構造物が示す電位からアノードの発生電流を推測し、その値からアノードの耐用年数についても検討を加える。

## 2. 検討方法

### 2. 1 アノード

検討に用いたアノードの形状寸法や規格を以下に記す。

- ①アルミニウム合金陽極とする
- ②長さ約 110cm、等価直径を約 14cm とする
- ③当初の設計発生電流を 2A、その後の電位安定時の発生電流を 1A とする
- ④設計耐用年数を 20 年、製品質量(グロス値)を約 75kg とする

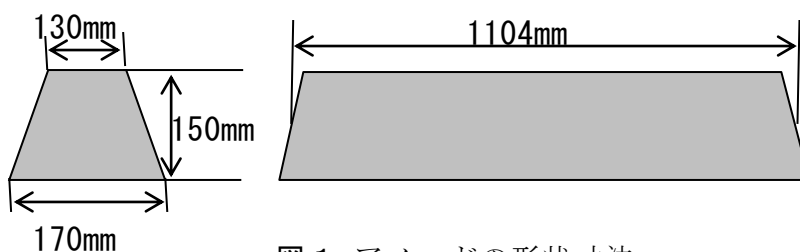


図1 アノードの形状寸法

## 2. 2 アノードの形状と影響因子

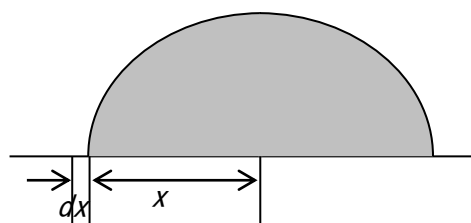
アノード発生電流により海水中に形成される電位は、アノードの接水抵抗と関連し、その接水抵抗はアノードの形状に影響される。そこで、アノードの形状を一般的に使用される半球状および円盤状にモデル化する。更に、円盤状モデルを簡略化したハイブリッド状についても検討する。尚、検討に影響する因子を以下の様に設定する。

- ①海水の抵抗率は  $30 \times 10^{-2} \Omega \text{m}$  とする
- ②半球状と円盤状の直径はアノード長である 110cm とする
- ③アノード表面上の電位は全面同電位のアノード開路電位とする
- ④アノードの開路電位は  $-1050 \text{mV}$  (vs. Ag/AgCl [sw]) とする
- ⑤鋼構造物の自然電位は  $-550 \text{mV}$  (vs. Ag/AgCl [sw]) とする
- ⑥鋼構造物の接水抵抗はアノード接水抵抗と同値とする
- ⑦接触面の抵抗など上記以外の抵抗は考えないものとする
- ⑧電流はアノード全面から均等に流れるとする
- ⑨鋼構造物の電位は SP と略記し、全て海水塩化銀電極基準で記述する

## 3. 検討結果と考察

### 3. 1 半球状アノード

図 2 に示すような半球状アノードの全面から海水中に拡散する電流を  $I$  とする。半球の中心から  $x$  までの表面積は  $2\pi x^2$  であり、電流密度は  $I/2\pi x^2$  となる。半球の表面から



微小な離れ  $dx$  に於ける電位変化を  $dV$  とする。

形成される電位の変化は電流密度に抵抗率と微小な離れを乗じたものであるから、海水の抵抗率を  $\rho$  とすると、以下の微分方程式が成立する。

$$dV = \frac{\rho I}{2\pi x^2} dx \cdot \cdot \cdot (1)$$

そこで、この微分方程式を解き、 $x$  について無限大まで積分すると、形成される電位は

$$V = \int dV = \frac{\rho I}{2\pi} \int_x^{\infty} \frac{1}{x^2} dx = \frac{\rho I}{2\pi x} \cdot \cdot \cdot (2) \quad \text{となる。}$$

式(2)の  $x$  をアノード長の半分(モデル半球の半径)の整数倍ずつ変化させ、 $\rho$  に  $30 \times 10^{-2} \Omega \text{m}$ 、 $I$  に 2A を代入して得られる形成電位と鋼構造物電位の分布状況を表 1 及び図 3 に示す。半球状アノードではアノード端部での電位減衰は大きいものの、アノード中心からの離れが増加した場合でも、鋼構造物電位が防食電位を下回ることは無い。

表 1 アノード中心からの離れと形成電位および鋼構造物電位の分布

$x(\text{m})$	0.55	1.1	1.65	2.2	2.75	3.3	3.85	4.4	4.95	5.5
$V(\text{mV})$	174	87	58	43	35	29	25	22	19	17
SP (-mV)	1050	963	934	919	911	905	901	896	895	893

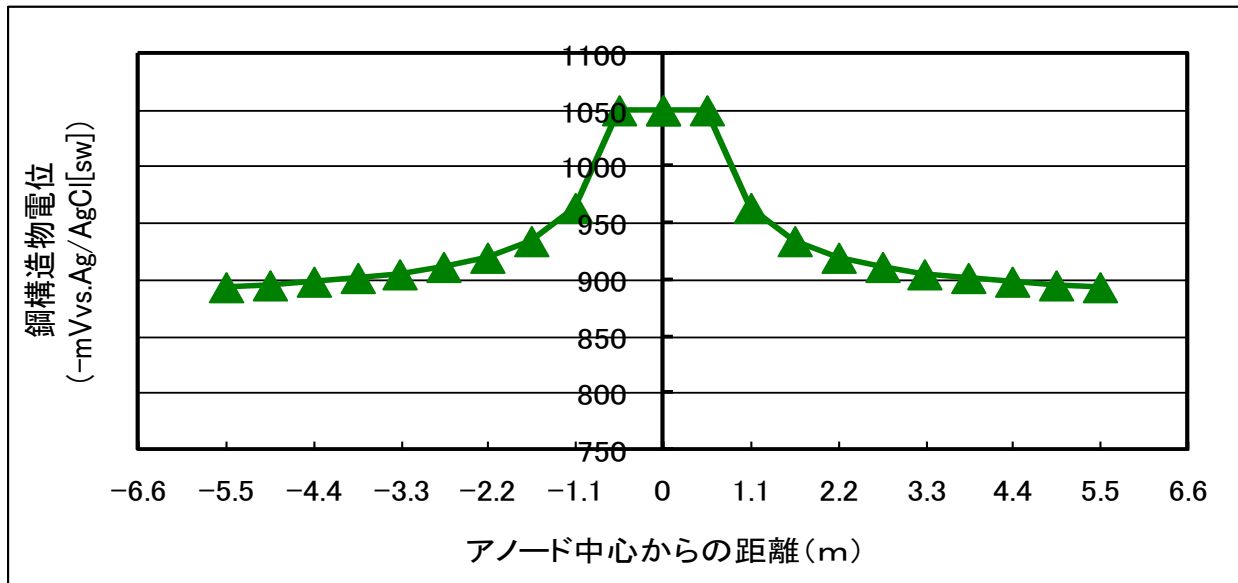


図3 鋼構造物の電位分布

### 3. 2 円盤状アノード

図4に示すような円盤状アノードの場合も半球状アノードの場合と全く同様に考え、微小な離れに於ける電位変化から以下の微分方程式を得る。



図4 円盤状アノード

$$dV = \frac{\rho I}{2\pi x \sqrt{x^2 - R^2}} dx \cdots \cdots (3)$$

そこで、半球状アノードの場合同様に、この微分方程式を解き、 $x$ について無限大まで積分することにより、形成される電位は、

$$V = \int dV = \frac{\rho I}{2\pi} \int_x^\infty \frac{1}{x \sqrt{x^2 - R^2}} dx = \frac{\rho I}{2\pi R} \sin^{-1} \left( \frac{R}{x} \right) \cdots \cdots (4) \quad \text{となる。}$$

半球状アノードの場合と同様の計算を行うことにより得られるアノード形成電位と鋼構造物電位の分布状況を表2及び図5に示す。

半球状タイプと異なり、アノード中心から約5.5m(アノード長の約5倍)の位置で防食管理電位(-800mV vs. Ag/AgCl[sw])を下回ることが分かる。これは減衰係数として逆正弦関数が付与された影響と考えられる。

表2 アノード中心からの離れと形成電位および鋼構造物電位の分布

$x$ (m)	0.55	0.61	0.69	0.79	0.92	1.1	1.38	1.83	2.75	5.5
$V$ (mV)	273	194	161	135	112	91	71	53	35	17
SP(-mV)	1050	971	938	912	889	868	848	830	812	794

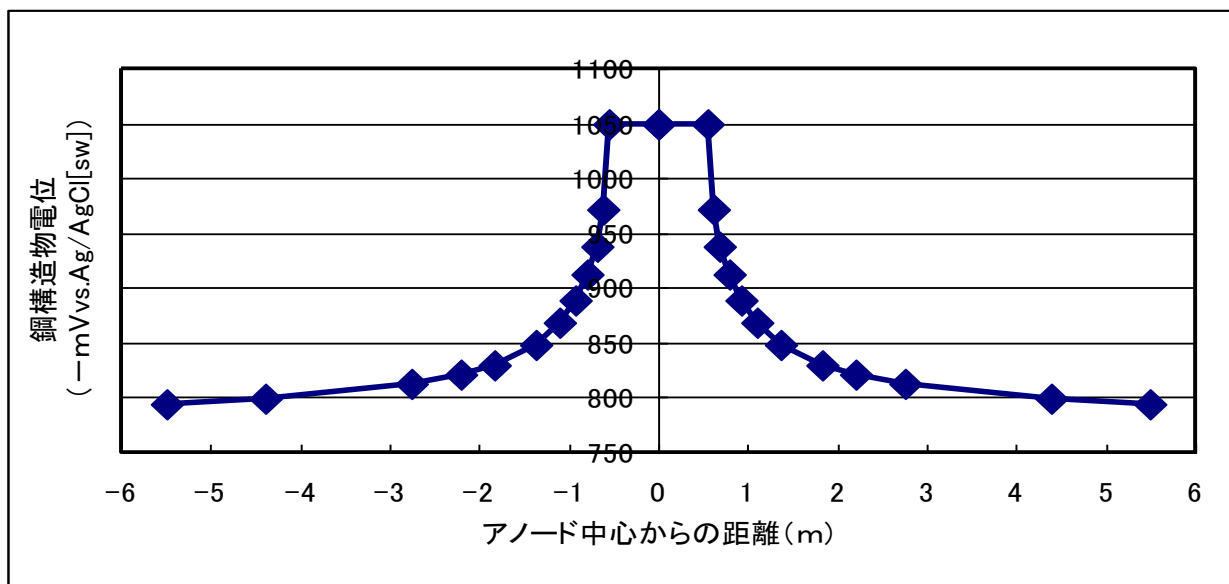


図5 鋼構造物の電位分布

### 3. 3 ハイブリッド状アノード

前述の円盤状アノードに於ける式(4)の  $x$  に  $0.55\text{m}$  (半径  $R$ ) を代入すると、アノード端部の値は  $\rho I/4R$  となる。そこで、電位変化が  $\rho I/4x$  に従うものと仮定し、検討を加えてみる。その結果を表3及び図6に示す。アノード中心から  $5.5\text{m}$  ( $R$  の10倍) を超えて防食管理電位を維持しているのは、逆正弦関数で表される減衰度が払拭されたためと考えられる。

表3 アノード中心からの離れと形成電位および鋼構造物電位の分布

$x$ (m)	0.55	1.1	1.65	2.2	2.75	3.3	3.85	4.4	4.95	5.5
$I$ (mV)	273	136	91	68	55	45	39	34	30	27
SP (-mV)	1050	913	868	845	832	822	816	811	807	804

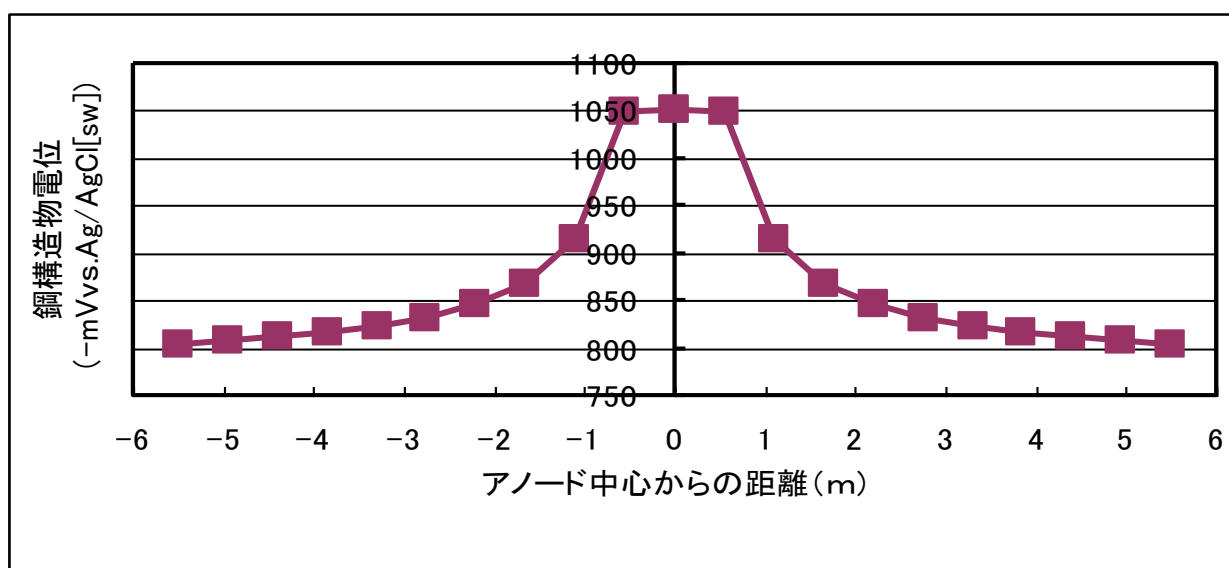


図6 鋼構造物の電位分布

### 3. 4 減衰関数

現実には防食電位の減衰現象が存在する以上、設計時に電位の減衰を無視することは出来ず、各々の減衰関数による減衰度の差異を把握する必要がある。そこで、代表的な4種類の減衰関数を選び、検討してみる。検討結果を表4及び図7に示す。大きな差はないものの、逆正弦関数による減衰度合いが防食効率からは望ましい様である。

表4 各減衰関数の相対減衰度

$x(m)$	0.55	1.1	1.65	2.2	2.75	3.3	3.85	4.4
$1/EXP(X)$	1.00	0.58	0.33	0.19	0.11	0.06	0.04	0.02
$1/EXP(X^2/2)$	1.00	0.64	0.30	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00
$1/COSH(X)$	1.00	0.69	0.43	0.25	0.15	0.09	0.05	0.03
$ASIN(0.55/X)$	1.00	0.33	0.22	0.16	0.13	0.11	0.09	0.09

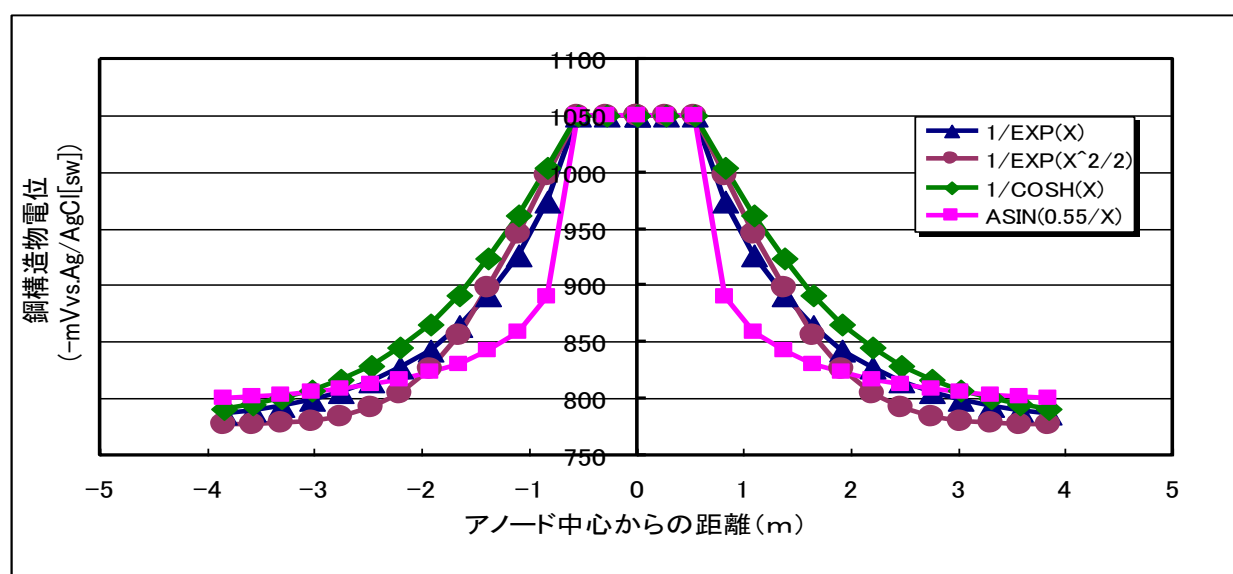


図7 鋼構造物の電位分布

### 3. 5 電位の加算性

単独アノードの電位分布について議論してきたが、適当な間隔で複数本のアノードが設置されているのが現実である。これらが互いに影響を及ぼし合わないとは考えにくく、アノード相互の影響により電位そのものに加算性や減算性が成立すると推察される。

電流は方向と大きさを有するベクトルであり、加算性が成立すると考えられる。そこで、2本のアノードで形成される電位の加算性について検討を加える。その結果を表5及び図8に示す。アノード中心から5.5mまでの範囲は、優に防食管理電位を維持しており、アノード設置間隔を決定する際の有益な情報を示唆している。

表5 アノード形成電位の加算結果と鋼構造物電位

$x(m)$	0.55	1.1	2.2	3.3	4.4	5.5	6.6	7.7	8.8	9.35
$V_1(mV)$	273	136	68	45	34	27	23	19	17	17
$V_2(mV)$	17	19	21	25	30	39	55	91	273	273
$V_1+V_2(mV)$	290	155	89	70	64	66	78	110	290	290
SP (-mV)	1050	915	849	830	824	826	837	870	1050	1050

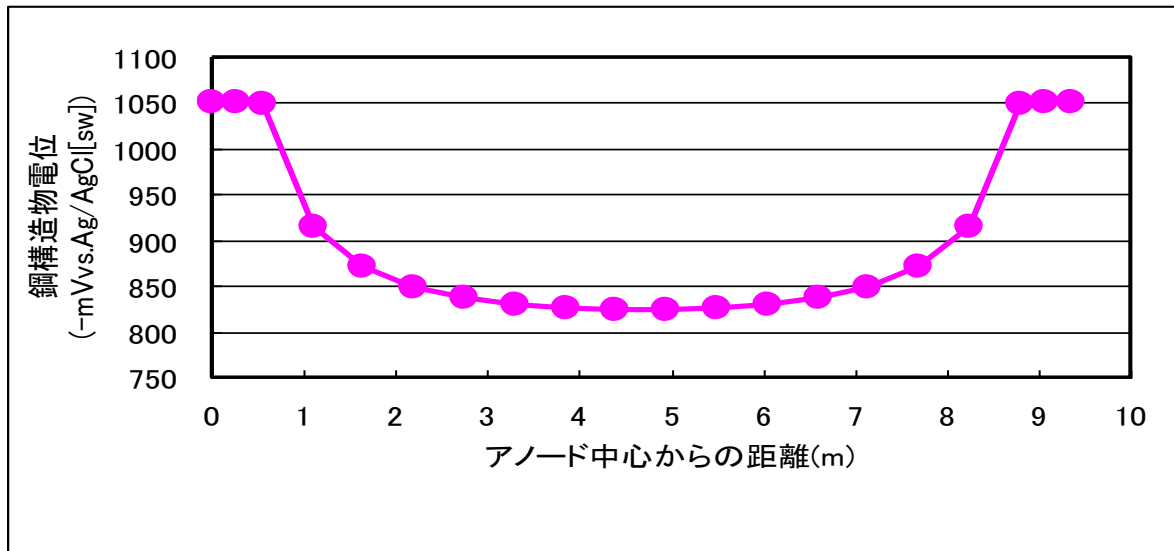


図8 鋼構造物の加算電位分布

### 3. 6 防食電位とアノード耐用年数

鋼構造物の測定電位が防食管理電位以下にあることは、現時点での防食状態を示すものの、将来にわたる防食維持を保障するものではない。十全な防食状態を維持するには、電位と共に、今後も十分な防食電流を供給し続けるだけのアノード残存量が必要である。そこで、測定電位とアノード耐用年数の相関性を推定し、その結果を表6及び図9に示す。

表6 構造物電位とアノード耐用年数

SP(-mV)	900	870	850	820	800	780
I(mA)	750	900	1000	1150	1250	1350
Y(year)	27	22	20	17	16	15

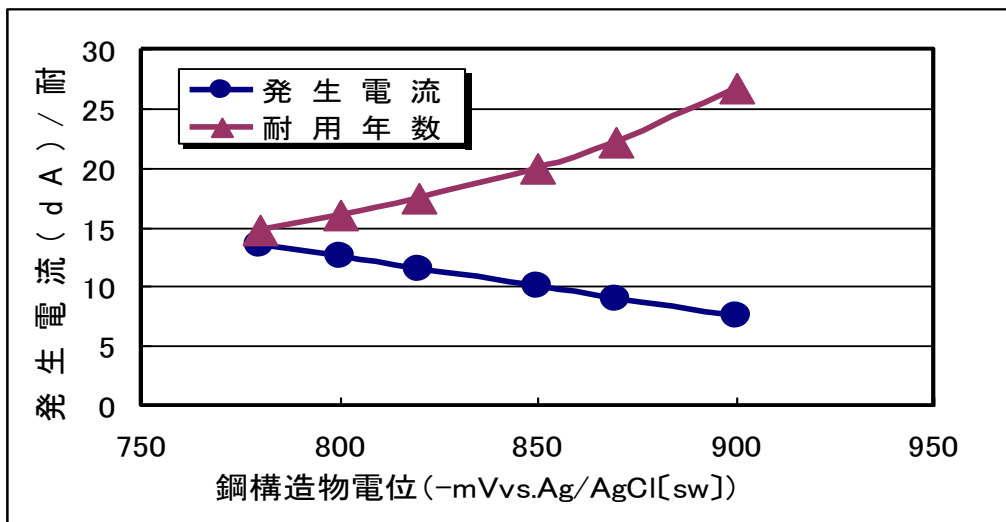


図9 鋼構造物電位とアノード耐用年数・発生電流の関係

### 4. まとめ

港湾鋼構造物の流電陽極方式に用いるアノードに数学的モデル形状を当てはめ、電位の減衰分布、電位の加算性および電位レベルとアノード耐用年数などについて検討を加えた。この推定が実務現場で実証され、今後の設計に反映されることを期待しつつ結びとしたい。