

流電陽極の配置形状と電位減衰について

防食・補修工法研究会 柏木達夫

1. はじめに

海洋鋼構造物を流電陽極方式で電気防食する場合の重要なポイントは二つとされている。先ず一つ目はアノード接地抵抗に応じて流布する防食電流がどこまで届くのかという到達範囲である。二つ目は設置されたアノード群により形成される電流・分極電位相互間の加算性などを考慮し、アノードからの最遠点に於いても防食電位が維持される様に配慮することである。しかし、これらの意味するところが至極当然のことであるため、従来これらのポイントに焦点を絞り込んでより深く検討されることはなく、これまでの研究に於いても詳細な検討を加えたものは多くはないようである。

そこで、筆者はこれまで発表してきたデータ^{1)~5)}に基づき、アノードの配置形状そのものの違いに着目し、各々の形状に於ける分極電位の減衰傾向を理論的に想定した理論減衰式や経験減衰式をない交ぜにし、思考実験により分極電位各々の比較検討を行ってみた。更に、その結果に基づき海洋鋼構造物の電気防食時の分極電位の減衰分布および防食範囲・防食面積についても考察を加えた。以下に思考実験結果の詳細を報告する。

2. 検討方法

2. 1 全般的な前提条件

- ①アノードの配置は正三角形、正方形および正六角形の3種類とする
- ②アノードは配置図形各々の頂点に置かれた点電荷とする
- ③適用する照合電極は海水塩化銀電極(Ag/AgCl[sw])とする
- ④適用するアノードはアルミニウム電極とし、開路電位は-1050mVとする
- ⑤鋼構造物の自然電位は-550mV、防食電位は-850mV以下とする
- ⑥防食電位に於ける分極値は300mV以上とし、防食対象は鋼矢板から成るものとする
- ⑦アノードと配置図形の重心までを効果の及ぶ最遠点距離とする

2. 2 アノード配置図形に応じた分極値と電極間距離

アノードの配置図形である正三角形、正方形および正六角形各々の重心点に於ける最低必要な分極値や電極間距離などを表1と図1にまとめて示す。

表1 配置図形各々の関連データ

| 配置図形 | 必要分極値 | 設置電極数 | 最遠点分極値 | 重心と電極間距離 | 電極間距離 |
|------|-------|-------|--------|----------|---------------|
| 正三角形 | 300mV | 3本 | 100 mV | X m | $\sqrt{3}X$ m |
| 正方形 | | 4本 | 75 mV | | $\sqrt{2}X$ m |
| 正六角形 | | 6本 | 50 mV | | X m |

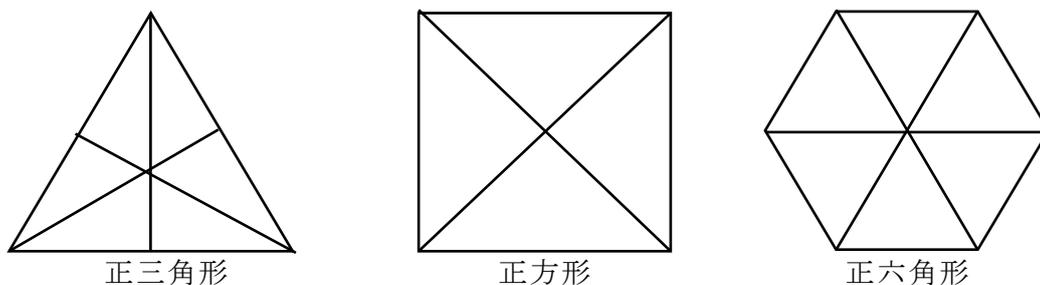


図1 アノードの配置図形

上図で各々の図形の頂点にアルミニウム電極が設置され、正方形と正六角形の対角線の交点が重心点である。正三角形では底辺の垂直2等分線の交点となる。

2. 3 想定減衰式と減衰係数・離隔距離

減衰式の決定は微分方程式を解いて求めるのが理想ではあるが、鋼矢板上の電位挙動は複雑に錯綜しており非常に困難である。そこで、定量性には欠けるものの現実の減衰度を定性的に反映している5種類の想定減衰式を取り上げ、フィールド状況を勘案した4種類の減衰係数値で検討を行った。表2に想定減衰式や減衰係数などをまとめて示す。

表2 想定減衰式と減衰係数および離隔距離

| 想定減衰式 | | 減衰係数 $a(1/m)$ | 離隔距離 $x(m)$ |
|-------|---------------|---------------------|---------------|
| 減衰式 1 | $1-ax$ | 1/10 1/15 1/20 1/30 | 流電陽極の配置形状に応じて |
| 減衰式 2 | $2-e(ax)$ | | |
| 減衰式 3 | $2-COSH(ax)$ | | |
| 減衰式 4 | $COS(ax)$ | | |
| 減衰式 5 | $(1-ax)e(ax)$ | | |

3. 検討結果と考察

3. 1 想定減衰式による分極値の変化

5種類の想定劣化式を適用し、分極値の変化を解析した結果の中から代表的なものを以下に示す。

① 減衰式 1 $1-ax$

表3 減衰係数と分極値の関係

| 距離 $x(m)$ | | 0 | 1 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 減衰係数 $a(1/m)$ 分極値(mV) | 1/10 | 1.00 | 0.90 | 0.70 | 0.50 | 0 | | | | |
| | 分極値 | 500 | 450 | 350 | 250 | 0 | | | | |
| | 1/15 | 1.00 | 0.93 | 0.80 | 0.67 | 0.33 | 0 | | | |
| | 分極値 | 500 | 467 | 400 | 333 | 165 | 0 | | | |
| | 1/20 | 1.00 | 0.95 | 0.85 | 0.75 | 0.50 | 0.25 | 0 | | |
| | 分極値 | 500 | 475 | 425 | 375 | 250 | 125 | 0 | | |
| | 1/30 | 1.00 | 0.97 | 0.90 | 0.84 | 0.67 | 0.51 | 0.34 | 0.18 | 0 |
| 分極値 | 500 | 484 | 451 | 418 | 335 | 253 | 170 | 90 | 0 | |

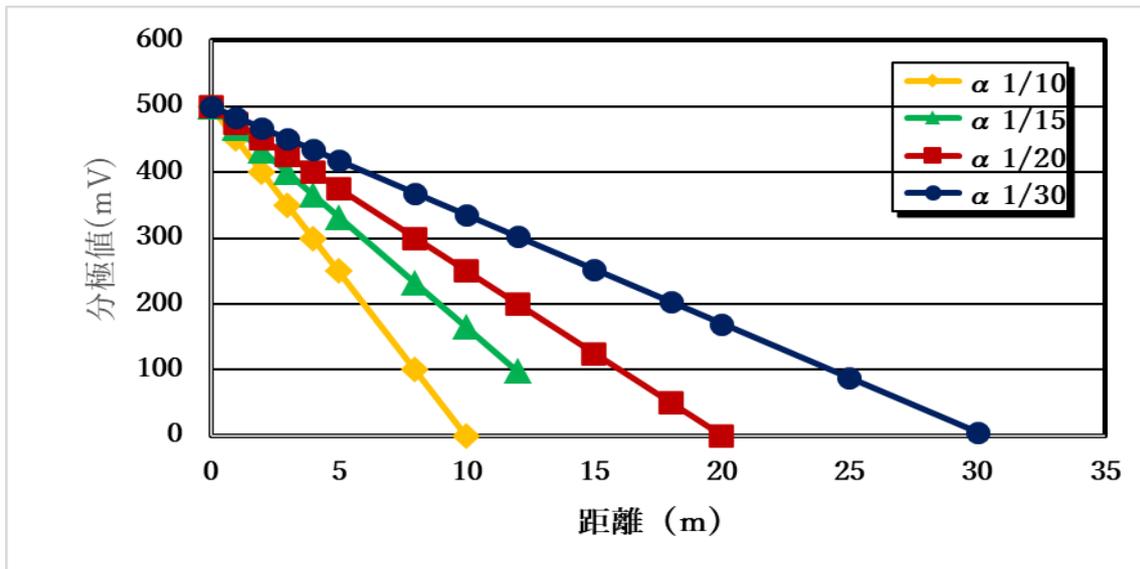


図2 減衰係数に応じた分極値の変化

② 減衰式3 $2 - \text{COSH}(ax)$

表4 減衰係数と分極値の関係

| 距離 x(m) | | 0 | 1 | 3 | 5 | 10 | 12 | 18 | 20 | 30 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 減衰係数 | 1/10 | 1.00 | 0.99 | 0.95 | 0.87 | 0.46 | 0.19 | | | |
| | 分極値 | 500 | 497 | 477 | 436 | 228 | 95 | | | |
| $\alpha(1/m)$ | 1/15 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.94 | 0.77 | 0.66 | 0.18 | | |
| | 分極値 | 500 | 499 | 490 | 472 | 384 | 330 | 90 | | |
| 分極値 (mV) | 1/20 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.97 | 0.87 | 0.81 | 0.57 | 0.46 | |
| | 分極値 | 500 | 499 | 494 | 484 | 436 | 407 | 283 | 228 | |
| | 1/30 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.95 | 0.92 | 0.82 | 0.77 | 0.47 |
| | 分極値 | 500 | 500 | 498 | 493 | 473 | 460 | 409 | 387 | 234 |

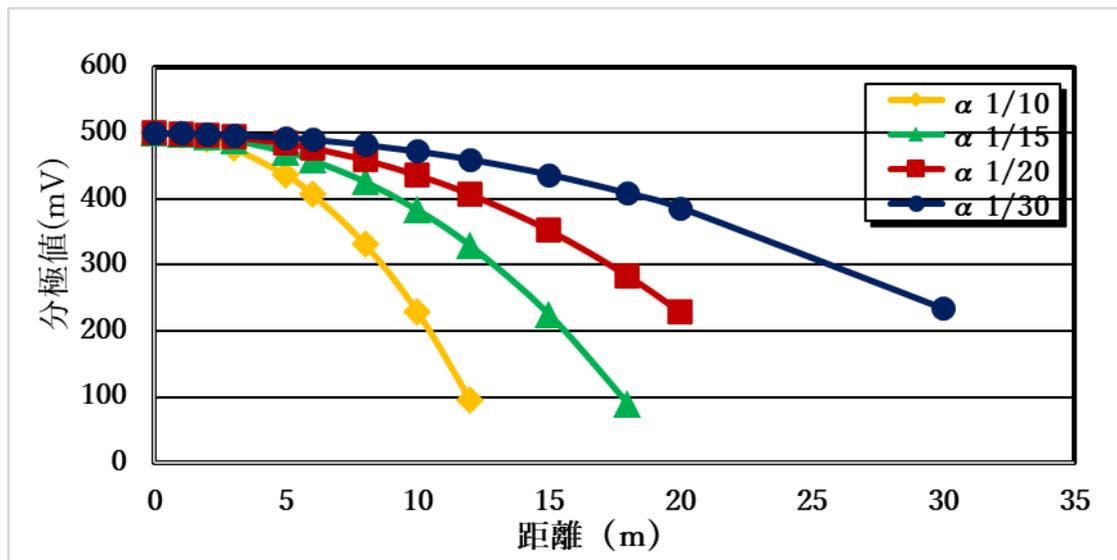


図3 減衰係数に応じた分極値の変化

③ 減衰式 5 $(1 - \alpha x) e(\alpha x)$

表 5 減衰係数と分極値の関係

| 距離 x (m) | | 0 | 1 | 3 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 減衰係数 α (1/m) 分極値(mV) | 1/10 | 1.00 | 0.99 | 0.94 | 0.82 | 0.45 | 0.00 | | | |
| | 分極値 | 500 | 497 | 472 | 412 | 223 | 0.00 | | | |
| | 1/15 | 1.00 | 1.00 | 0.98 | 0.93 | 0.79 | 0.64 | 0.00 | | |
| | 分極値 | 500 | 499 | 488 | 465 | 397 | 322 | 0.00 | | |
| | 1/20 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.96 | 0.90 | 0.82 | 0.53 | 0.00 | |
| | 分極値 | 500 | 499 | 494 | 482 | 448 | 412 | 269 | 0.00 | |
| | 1/30 | 1.00 | 1.00 | 0.99 | 0.98 | 0.96 | 0.93 | 0.83 | 0.66 | 0.40 |
| | 分極値 | 500 | 500 | 497 | 492 | 479 | 466 | 416 | 329 | 200 |

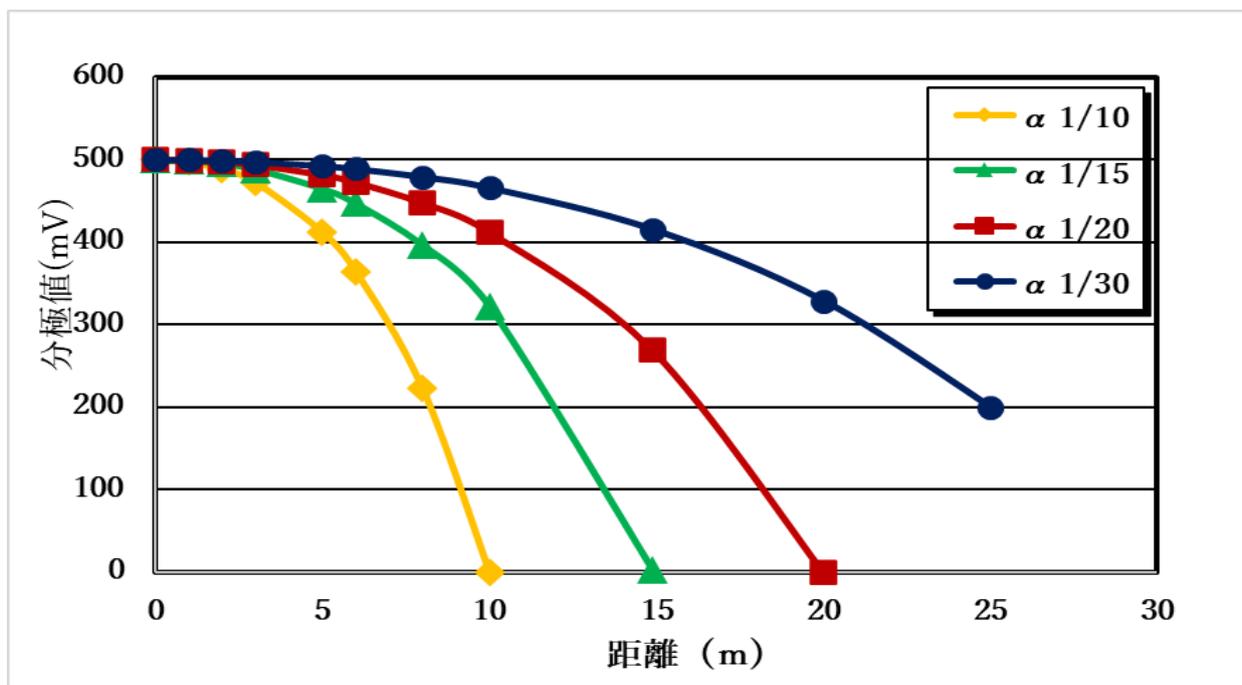


図 4 減衰係数に応じた分極値の変化

3. 2 防食範囲・防食面積の決定因子

アノードの防食範囲及び防食面積を決定する因子を調べるため、3種類のアノード配置形状、5種類の想定減衰式および4種類の減衰係数を適用して解析を行った。因子が多いため解析表が非常に広範なものとなるため、このページに示すことは困難である。そこで、アノード配置形状を正三角形に絞り込み、想定減衰式と減衰係数を種々変化させ解析したものと減衰係数を固定し、配置形状を変化させ解析したものから得られた設置する電極間の距離および鋼矢板の防食面積について表 6、図 5 および図 6 にまとめて示した。

表6 正三角形に於ける減衰式・減衰係数に応じた電極間距離と防食面積

| 図形 | 電極本数(本) | 必要分極値(mV) | 最遠点分極値(mV) | 減衰係数(1/m) | 減衰式 | 最遠点距離(m) | 電極間距離(m) | 防食面積(m ²) |
|------|---------|-----------|------------|-----------|---------------|----------|----------|-----------------------|
| 正三角形 | 3 | 300 | 100 | 1/10 | $1-ax$ | 8.0 | 13.9 | 83 |
| | | | | | $2-e(ax)$ | 5.9 | 10.2 | 45 |
| | | | | | $2-COSH(ax)$ | 11.9 | 20.6 | 184 |
| | | | | | $COS(ax)$ | 13.7 | 23.7 | 244 |
| | | | | | $(1-ax)e(ax)$ | 9.2 | 15.9 | 110 |
| | | | | 1/15 | $1-ax$ | 11.9 | 20.6 | 184 |
| | | | | | $2-e(ax)$ | 8.8 | 15.2 | 101 |
| | | | | | $2-COSH(ax)$ | 17.8 | 30.8 | 412 |
| | | | | | $COS(ax)$ | 20.5 | 35.5 | 546 |
| | | | | | $(1-ax)e(ax)$ | 13.7 | 23.7 | 244 |
| | | | | 1/20 | $1-ax$ | 16.0 | 27.7 | 333 |
| | | | | | $2-e(ax)$ | 11.8 | 20.4 | 181 |
| | | | | | $2-COSH(ax)$ | 23.9 | 41.4 | 742 |
| | | | | | $COS(ax)$ | 27.4 | 47.5 | 975 |
| | | | | | $(1-ax)e(ax)$ | 18.4 | 31.9 | 440 |
| | | | | 1/30 | $1-ax$ | 24.2 | 41.9 | 761 |
| | | | | | $2-e(ax)$ | 17.8 | 30.8 | 412 |
| | | | | | $2-COSH(ax)$ | 36.2 | 62.7 | 1702 |
| | | | | | $COS(ax)$ | 41.5 | 71.9 | 2237 |
| | | | | | $(1-ax)e(ax)$ | 27.9 | 48.3 | 1011 |

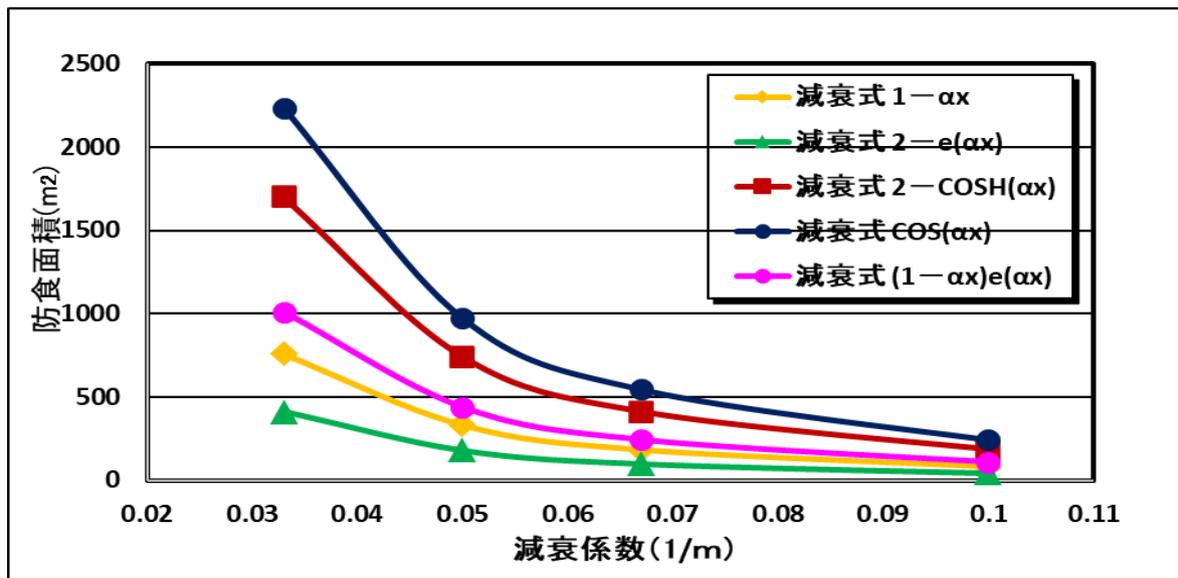


図5 減衰式および減衰係数に応じた防食面積

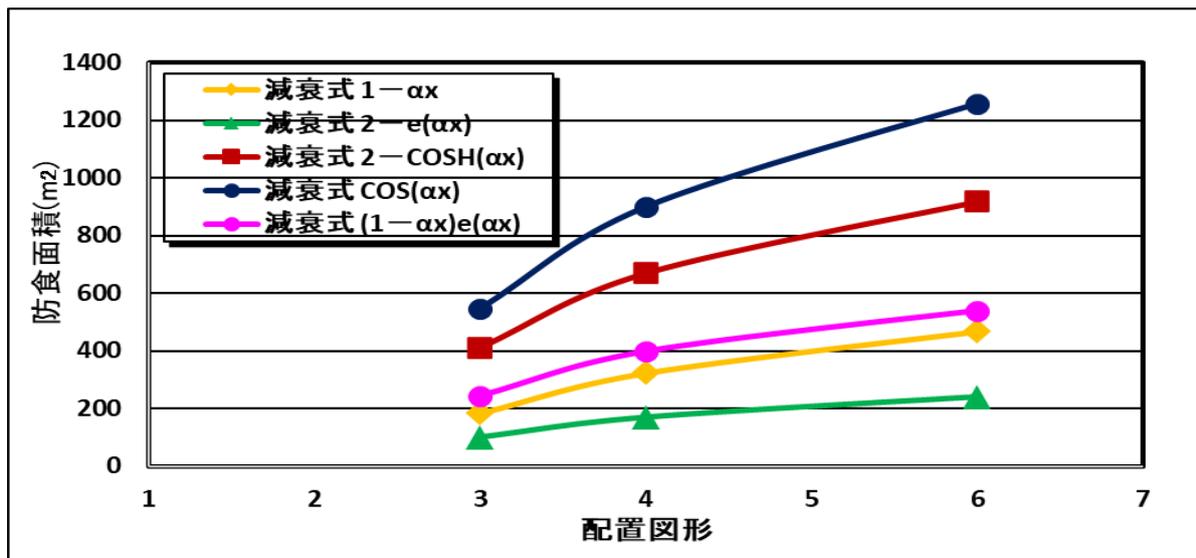


図6 減衰係数を1/15(1/m)とした場合の配置図形および減衰式に応じた防食面積

3. 3 解析・検討結果のまとめ

今般実施した思考実験による解析・検討結果を以下に整理して示す。

- ①減衰係数値とアノード設置間隔および鋼矢板の防食面積の間には、アノードの配置形状に関わらず反比例関係が存在することが判明した。
- ②アノード設置間隔および鋼矢板の防食面積は配置形状が正六角形で最大、正三角形で最小となることが判明した。
- ③電気防食対象である鋼矢板の防食面積は減衰係数値の逆数の二乗にほぼ比例して増加することが判明した。

4. まとめ

今回の思考実験により、アノードの配置形状を正六角形にすることにより鋼矢板の防食面積が最大となることが判明したが、実際に設置する場合には、全ての配置形状についてアノード材料費や設置費などを勘案し、これらを鋼矢板の防食面積で除した値で比較検討し、最終決断を下すことを推奨したい。本検証結果が少しでも実務ワークに役立つことを祈念しつつ、本発表を締め括りたい。

引用文献

- 1) 柏木達夫: 港湾鋼構造物に於ける防食工の劣化曲線に関する一考察, 第34回防錆防食技術発表大会予稿集 No.107
- 2) 柏木達夫: 港湾鋼構造物に於ける防食工の劣化度推定式の検討, 第38回防錆防食技術発表大会予稿集 No.216
- 3) 柏木達夫: 港湾鋼構造物に於ける防食工の劣化度評価手法に関する再検討と一考察, 第41回防錆防食技術発表大会予稿集 No.106
- 4) 柏木達夫: 港湾鋼構造物に於ける防食工の劣化度推定式の検討, 防錆管理, Vol.62, No.12, P.29~34(2018)
- 5) 柏木達夫: 港湾鋼構造物に於ける流電陽極に関する一考察, 防錆管理, Vol.57, No.12, P.16~23(2013)