

アノードベッドの設置に関する一考察

防食・補修工法研究会 柏木達夫

1. はじめに

我々の生活を快適に維持していくうえで不可欠要素であるインフラ設備には、腐食による漏洩事故に起因する搬送流体の輸送停止といった重大事故を避けるため、防食工法が適用されるのが常である。防食工法にも色々あるが、防食を施された設備の経時変化を定量的に数値で把握できる利便性を持つ電気防食工法が適用されることが多い。

適用された電気防食工にとり重要なことは、必要十分な量の防食電流が供給されていることである。この様な観点から最近では効率よく状況に応じて出力電流値を制御できる外部電源方式の適用が漸増している。この外部電源方式の問題は適用アノードの本数が増えることである。電気防食用アノードが供給する防食電流の値を決定するものは接地抵抗であるが、適用本数が増えるとアノード間に形成される干渉問題が浮上してくる。発生電流の妨げとなる干渉値を可能な限り小さくする努力が多く先達によりなされてきたが、ブラックボックス的現象であるため理解し難く、実態が分かりにくいのが現実である。

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、適用アノード本数、設置形状、アノード設置間隔等を変化させ、各条件に於ける干渉値の影響度合いについて思考実験を実施した。これらの検討経緯と共に思考実験より導出された結果について報告する。

2. 検討方法

2. 1 アノード設置形状

過去に於いて数多くの先達が理論や実験に基づく研究を重ね、種々の接地抵抗式を発表している。過去の経験の積み重ねなどから、わが国では *Dwight* や *Tagg* が提案した接地抵抗式を変形したものが汎用化されているのが実状である。

アノードベッドを効率よく稼働させるためには、アノード接地抵抗をより小さくする必要がある。通常適用される方式はアノードを水平ないし垂直として直線状に設置する方式であるが、アノード相互の干渉値に大きな影響を及ぼす因子はアノード間の離れであり、この値を大きくすることにより干渉値を小さくすることが考えられる。即ち、直線状の設置方式を環状設置方式にするのも一つの対策である。

これに鑑み今回の複数本のアノード接地抵抗値の導出には、アノードを直線状に設置する場合と環状に設置する場合に分けて各々の干渉度合いについて検討を行うものとする。

ところで、アノードを直線状に複数本設置する場合の接地抵抗式はオイラ一定数を適用した変形式が良く知られているものの、環状複数本設置の場合の接地抵抗式は殆ど知られていない。そこで、直線状設置の場合の式の導出プロセスに倣い環状図形の特性を考慮しつつ接地抵抗式を導出してみる。

図 1 に記す様に環状に一定の間隔を有して N 本のアノードを水平・垂直設置する場合の

接地抵抗式は円周の直径を d 、中心を O とし、長さ L の電極に $1 \sim N$ までの番号をつける。
 ここで、電極 1 と $2, 3, 4 \dots N$ までの干渉抵抗値を $R_{12} R_{13} R_{14} \dots R_{1N}$ とする。

すると R_{14} は電極間の長さの関数であるから、
 $\angle 1 O 4 = 2\pi \times 3/N$ の正弦値の関数として表せ、
 長さ 14 は $2 \times d/2 \sin(3\pi/N)$ であるから、
 周辺部の土壌抵抗率を ρ とすると、
 $R_{14} = \rho / 2\pi d \sin(3\pi/N)$ となる。

即ち、 $R_{1m} = \rho / 2\pi d \sin((m-1)\pi/N)$ である。
 これらの関係式を適用し垂直設置のアノード 1 に関する
 総合抵抗を計算すると、アノード 1 単独の値に
 干渉抵抗を加えたものの $1/N$ であるから

$R = (R_1 + R_{12} + \dots + R_{1N}) / N$ であり、アノード数 N に於ける全体の総合接

地抵抗値は $R = \frac{\rho}{2\pi LN} \left[\ln\left(\frac{8L}{D}\right) - 1 + \frac{L}{d} \sum_{m=2}^N \frac{1}{\sin(m-1)\pi/N} \right]$ となる。

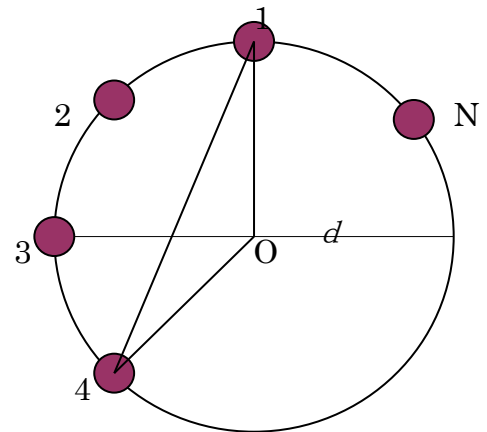


図1 環状設置の平面図

2.2 検討条件

検討に際しては、国内の施工実態を踏まえ、アノード長さを 1m 、直径を 0.2m 、土壌抵抗率を $100\Omega\text{m}$ とする。埋設深度は水平設置時を 1.5m および垂直設置時を 0m とする。

アノードの設置間隔は $2, 3$ 及び 5m とし、設置本数は $6, 9$ 及び 12 本とする。設置形状は図2～5に示す4種類とする。

2.2.1 直線状水平設置



図2 複数アノード直線状水平設置

2.2.2 直線状垂直設置

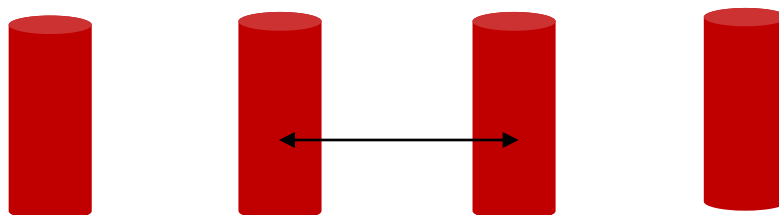


図3 複数アノード直線状垂直設置

2. 2. 3 環状水平設置

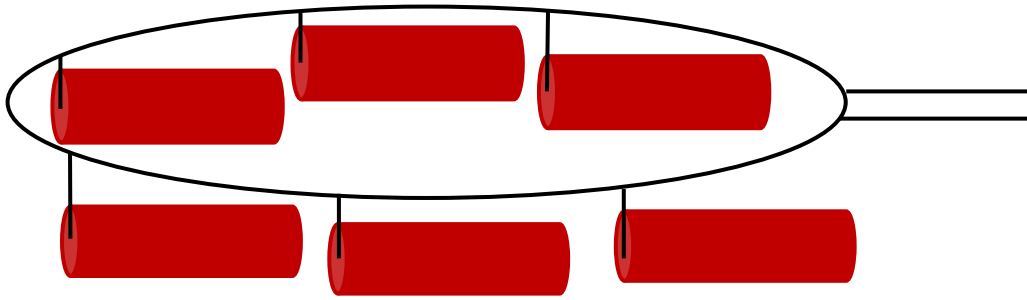


図4 複数アノード環状水平設置

2. 2. 4 環状垂直設置

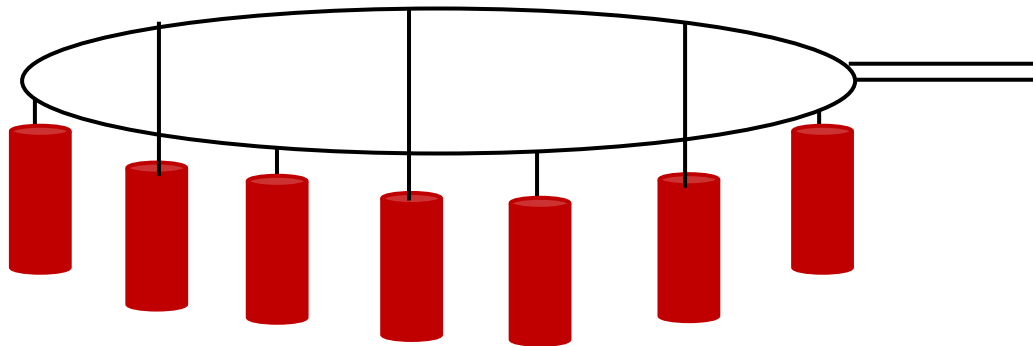


図5 複数アノード環状垂直設置

2. 2. 5 接地抵抗算定式

表1 解析に適用する接地抵抗式

抵抗式区分		水平設置	垂直設置
直線状 設置	本体	$R = \frac{\rho}{2\pi NL} \left(\ln \frac{4L}{D} - 1 \right)$	$R = \frac{\rho}{2\pi NL} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 \right)$
	干渉	$R = \frac{\rho}{\pi NS} \ln(0.656N)$	
環状 設置	本体	$R = \frac{\rho}{2\pi NL} \left(\ln \frac{4L}{D} - 1 \right)$	$R = \frac{\rho}{2\pi NL} \left(\ln \frac{8L}{D} - 1 \right)$
	干渉	$R = \frac{\rho}{2\pi dN} \sum 1/\sin((m-1)\pi/N)$	

2. 3 アノード総合接地抵抗値と干渉値の影響度解析

2. 3. 1 接地抵抗算定式

アノード設置方式、本数および設置間隔各々に於ける干渉値の大きさを計算し、総合接地抵抗値に占める干渉値の影響度合いを干渉度と定義し、干渉値を総合接地抵抗値で除した割合について検討を行った。以下にその結果をまとめて示す。

表2 アノード設置条件に応じた干渉度合い

本数(本) 間隔(m)		6			9			12		
		総合	干渉	干渉度	総合	干渉	干渉度	総合	干渉	干渉度
直線状 水平 設置	2	8.9	3.6	0.40	6.7	3.1	0.46	5.4	2.7	0.50
	3	7.7	2.4	0.31	5.6	2.1	0.38	4.5	1.8	0.40
	5	6.7	1.5	0.22	4.8	1.3	0.27	3.7	1.1	0.30
直線状 垂直 設置	2	10.8	3.6	0.33	7.9	3.1	0.39	6.3	2.7	0.43
	3	9.6	2.4	0.25	6.8	2.1	0.31	5.4	1.8	0.33
	5	8.6	1.5	0.17	6.0	1.3	0.22	4.7	1.1	0.23
環状 水平 設置	2	10.4	5.1	0.49	7.7	4.2	0.55	6.1	3.5	0.57
	3	8.7	3.4	0.39	6.3	2.8	0.44	4.9	2.3	0.47
	5	7.3	2.0	0.27	5.2	1.7	0.33	4.0	1.4	0.35
環状 垂直 設置	2	12.2	5.1	0.42	8.9	4.2	0.47	7.0	3.5	0.50
	3	10.5	3.4	0.32	7.5	2.8	0.37	5.9	2.3	0.39
	5	9.2	2.0	0.22	6.4	1.7	0.27	5.0	1.4	0.28

2. 3. 2 アノード設置条件に応じた干渉度合い

図6～10にアノード設置間隔を固定し、更にアノード設置本数を各々変化させた場合や逆の条件を設定して解析した結果をまとめて示す。

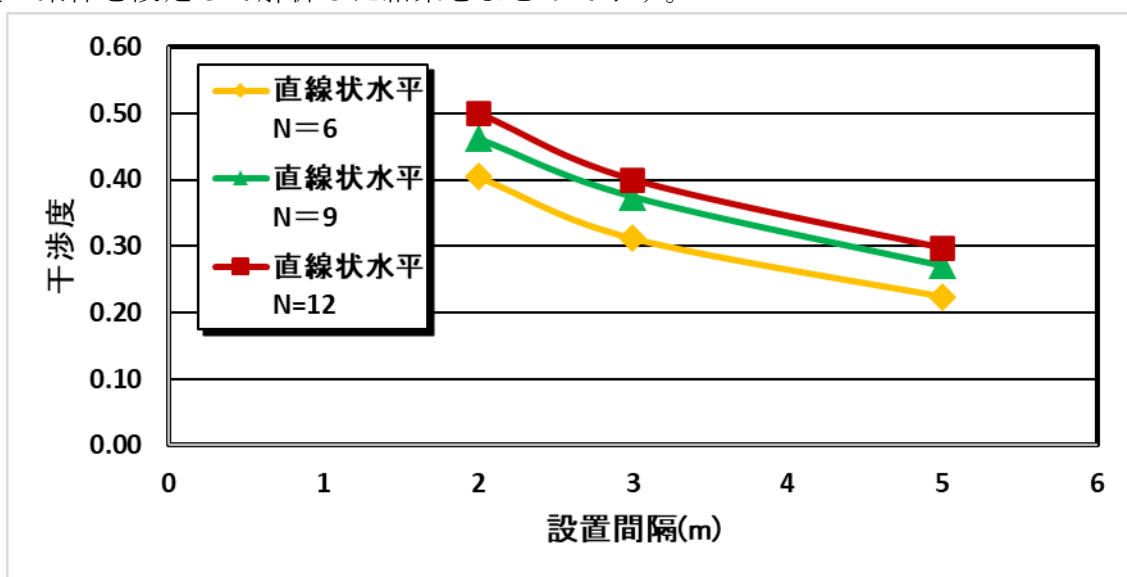


図6 複数アノード直線状水平設置

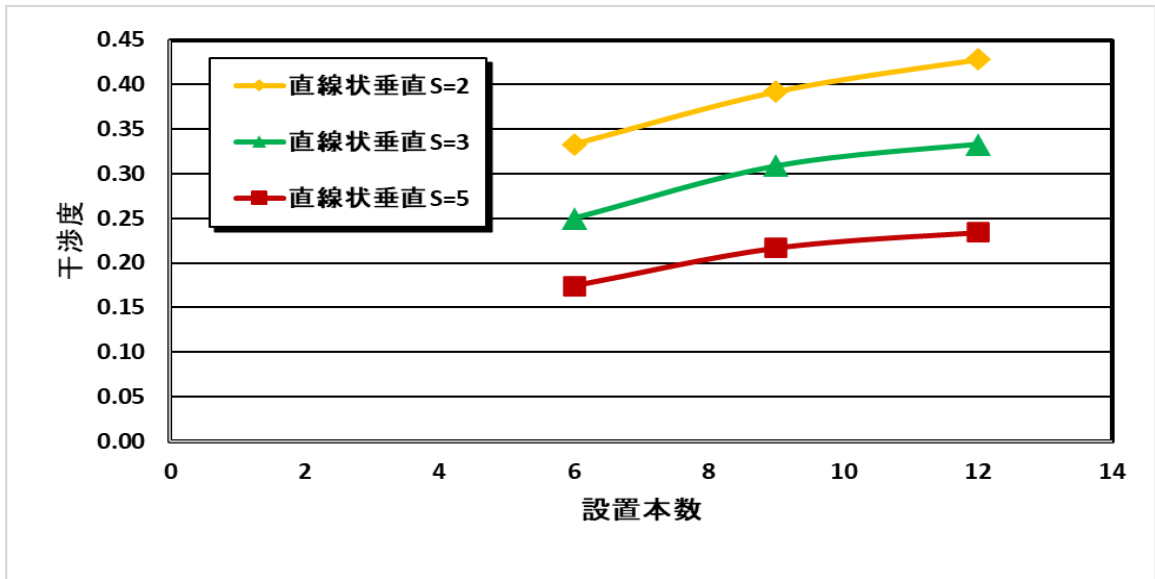


図7 複数アノード直線状垂直設置

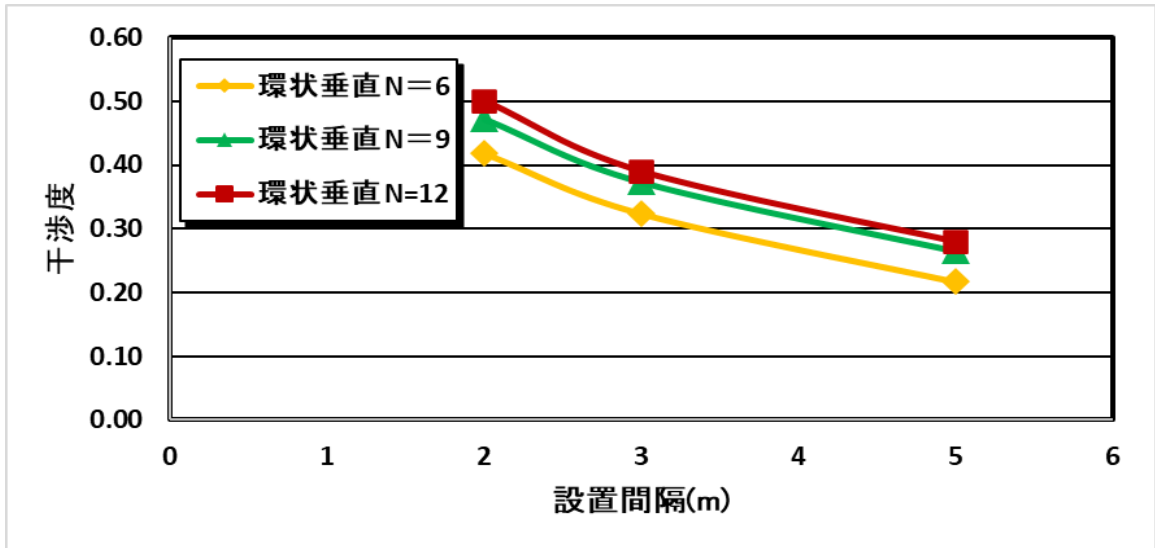


図8 複数アノード環状垂直設置

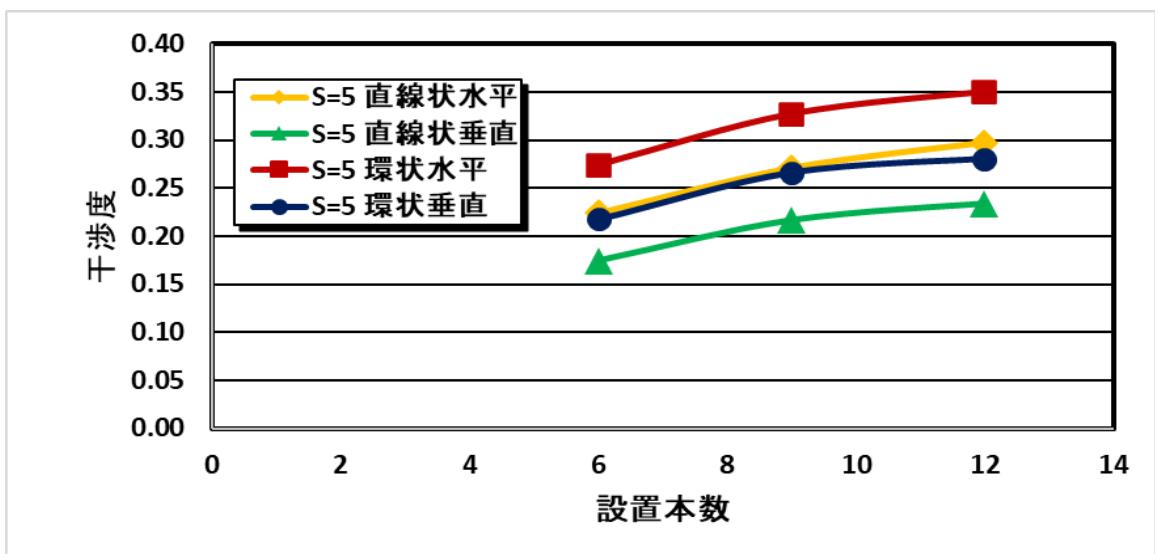


図9 複数アノード水平・垂直設置

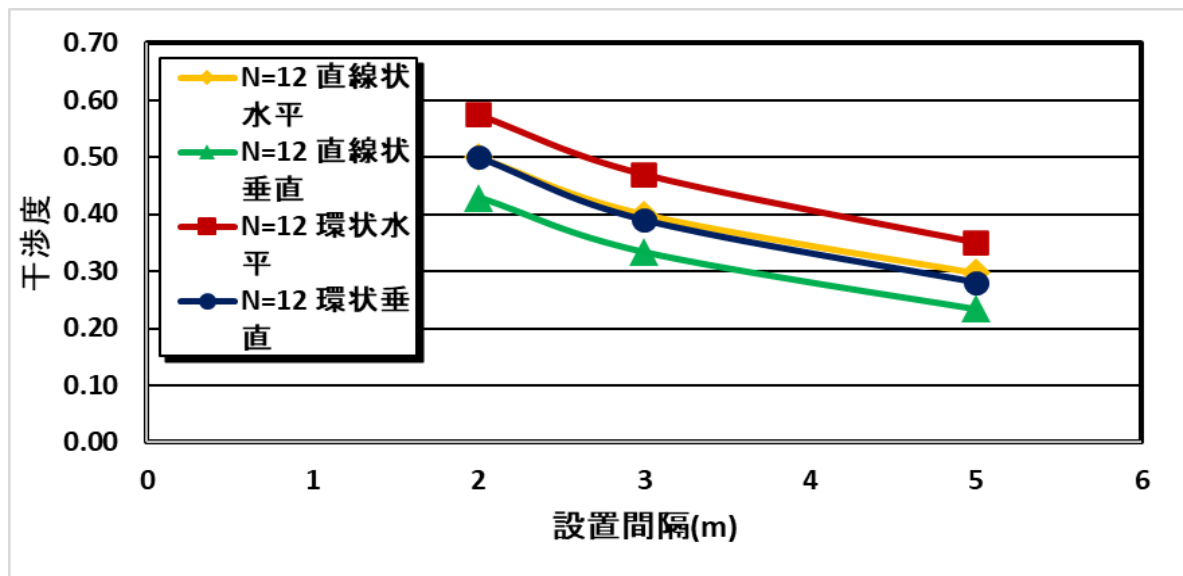


図 10 複数アノード水平・垂直設置

3 解析・検討結果のまとめ

今般実施した解析・検討により得られた知見を以下にまとめる。

- ① アノード設置方式に関わらず、干渉度は設置間隔の増加に伴い減少し、逆に設置本数の増加に伴い増大する。
- ② 干渉度はアノード設置本数や設置間隔に関わらず、直線状垂直設置方式で最少となり、環状水平設置方式で最大となる。直線状水平と環状垂直設置方式では略同じ値となり、最大値と最小値の中間となる。
- ③ 設置本数の増加に伴い干渉度は曲率を有する凸型曲線関数に従い漸増するが、設置間隔が増加する場合は、小さな曲率を有した収束形曲線関数に従い漸減する。

4. まとめ

今回の思考実験により得られた結果をフィールドアノードベッドの接地抵抗調査を行う事により得られる値と比較検討し、これらの結果がアノードベッドを設計する際に利用できる効率的な設計指針に将来反映されることを祈念しつつ筆を擱かせて頂く。

参考文献

- 1) H. B. Dwight : "Calculation of Resistances to Ground", Electrical Engineering, No.12, (1936)
- 2) G.F. Tagg : "Earth resistances", George Newnes Ltd. (1964)
- 3) 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)
- 4) 柏木達夫: 電気防食用アノードの接地抵抗に関する検討, 防錆管理, Vol.62, No.5, P.20～27(2020)
- 5) 柏木達夫: 電気防食用アノードの接地抵抗に関する検討, 第39回防錆防食技術発表大会予稿集 No.209(2019)