

■ウインドウズ オブ Wind (風の窓) 雷と接地

株式会社サンコーシヤ 商品開発部 岡林 親志

1. はじめに

接地は、各種電気設備において必要不可欠なものである。現代のような情報化社会では、各種装置の電子化に伴い多くの半導体デバイスが使われており、これらの機器の安定動作ならびに雷防護対策上、接地の重要性が高まっているのが実状である。

ここでは接地についての概説とともに、風力発電設備に必要な耐雷型接地について工法紹介をおこなう。

2. 接地とは

接地とは、いろいろな設備、構造物を導体によって大地と電氣的に完全に接続することである。接地される設備には、各種の電気設備（電力、信号、通信、無線等）や、避雷設備（避雷針、架空地線等）のほか、誘導障害防止用、電気防食設備、静電気除去用など、多くの設備がある。

接地抵抗は次のとおり定義されている。いま、図1に示す接地電極に、接地電流 I (A) が流入すると、これにより接地電極の電位が周囲の大地に比べ E (V) だけ上昇する。

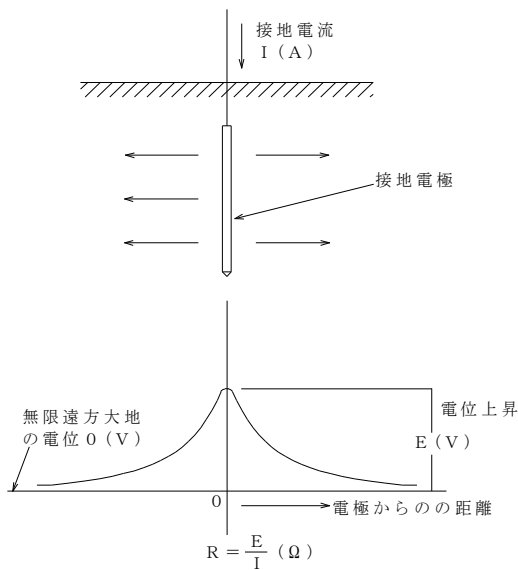


図1 接地抵抗の定義

このとき、オームの法則により、

$$R = \frac{V}{I} (\Omega)$$

となり、この抵抗 R (Ω) を接地抵抗とする。

接地抵抗に影響を与える要因として最も重要なのは、接地電極周囲の大地抵抗率 (ρ : ロー) であり、接地電極の寸法、形状が定まると、その電極の接地抵抗は次式のように表わされる。

$$R = \rho \times f$$

ここで、

R : 接地抵抗値 (Ω)

ρ : 大地抵抗率 (土壌のもつ抵抗率) (単位としては $\Omega \cdot m$)

f : 電極の形状と寸法により定まる関数

図2に大地抵抗率の単位、表1に土壌の種類による抵抗率の値、図3に日本の大地抵抗率地図を示す。

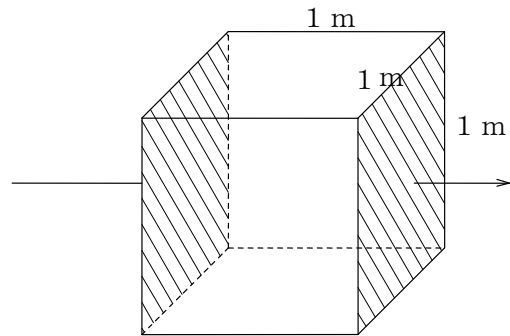


図2 大地抵抗率の単位 [$\Omega \cdot m$]

表1 土壌の大地抵抗率 [$\Omega \cdot m$]

土質	大地抵抗率
海岸砂地	50~100
水田湿地 (粘土質)	0~150
畑地 (粘土質)	10~200
水田, 畑 (表土下砂利層)	100~1,000
山地	200~2,000
山地 (岩盤)	2000~5,000
河岸, 河床跡 (砂利, 玉石積)	1000~5,000
コンクリート (吸水状態)	20~100

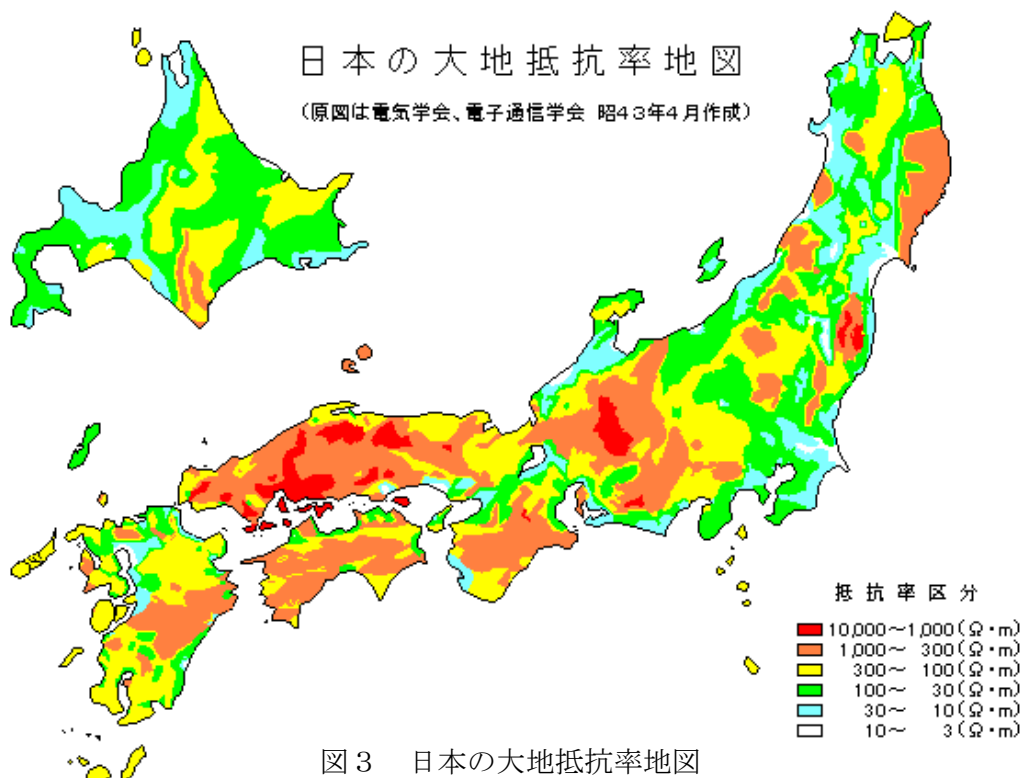


図3 日本の大地抵抗率地図

大地構造を調査するには、ボーリングによる地質調査が一般的であるが、相当な設備と費用を要するうえ、広範囲の地質を知るためには数箇所のボーリングを必要とする。そこで考えられたのが地表で地中の情報を得ようとする方法である。それには、弾性波・音波を利用する物理探査法と、大地の電氣的な量を測定する電気探査法とがある。電気探査法にはVLF帯の周波数を使用する電磁探査法と、地表に4本の電極を打ち込んで測定する比抵抗法などがある。

比抵抗法の代表的なものに、ウェンナーの四電極法と呼ばれるものがあり、1915年にFrank Wennerによって発表された。現在、大地抵抗率の測定や、地下水脈の探索などに広く使用されている。

3. 接地工法の種類と特徴

接地工事に当って、効率よく希望する接地抵抗値を確保するにはどのような接地電極を埋設したらよいかを考えねばならない。現在行われている代表的な接地工法とその特徴を表2に示す。

4. 接地抵抗低減法

最近では、各種接地低減材の進歩により、単に銅棒や銅板を埋設する方法から、接地低減

材を併用する工法に移行しつつある。

接地抵抗を低くする目的で使用される低減材には、導電質系と電解質系とがあり、その作用、効果は全く異なるものである。

導電質系接地低減材は、導電性の材料を電極の周囲に敷設することにより、接地電極の形状を大きくすることで表面積を拡大し、接地抵抗を下げるものである。

一方、電解質系接地低減材は、電極の周囲に薬剤を水溶液として投入し、土壤を改良することで接地抵抗を下げるものである。使用にあたっては、薬害や持続性について考慮する必要がある。

弊社では、導電質系接地低減材として30年前より、サンアースを国内外に販売し多くの実績を得ている。

サンアースは、石油精製から生じた粗粒状の良導電体で、主成分は炭素(無定形炭素)である。これを不純物除去および脱水の工程を経て、均一に粒度化した後、コンクリートのある割合で混合したものである。

サンアース M5C の抵抗率は、 $0.02 \sim 0.1 \Omega \cdot m$ (セメント、砂利の配合比によって異なる)程度である。ちなみに、金属電極の代替として使用する接地電極の抵抗率(比抵抗)は、実験の

表2 代表的接地工法とその特徴

電極種別,分類		施工法および摘要	特 徴			
			適合する 大地抵抗率	施工面積	経年性	経済性
棒 電 極	打ち込み法	連結式接地棒等を地表から打込む簡易的な施工法。地中の砂利等障害物のない箇所まで深さ1~6m程度まで。	低い場所	狭い	良	優
	ボーリング法	ボーリングによりφ40~120の穴を掘削してこの穴に電極と導電性物質(ベントナイト,サンアースなど)を充填する。	高い場所	狭い	優	可
板 電 極	接 地 板	金属板(例えば90×90cm)を水平または垂直に埋設。避雷設備等一般的に多く使用される。	低い場所	中	優	良
	導電コンクリート 帯状電極	導線の周囲にサンアース導電コンクリートを敷設。山岳地,砂れき地等広範囲の接地に適する。	高い場所	中	優	優
埋 設 地 線		導線を水平に埋設する。形状は直線,方形,星形,環状等自由な形で施工可能である。カウンターポイズ。	中位の場所	中	良	良
網 状 接 地 (メッシュ接地)		埋設地線を網目状にして水平に埋設したもの。 変電所構内等の接地電位傾度を小さくする目的に適す。	中位の場所	広い	良	可
接地抵抗 低減法 (低減剤 併用)	導電質系	埋設地線等の接地電極の周囲に導電物質を敷設する。山岳地等大地抵抗率の高い所などに最適。	高い場所	中	優	良
	電解質系	打ち込み接地等の接地電極の周囲に電解質系溶液を注入する。土壌改良剤。人畜,植物等への影響に要注意。	中位の場所	狭い	要注意	良

結果, 大地抵抗率 1,000 Ω・mの土壌では 10 Ω・m以下であれば十分といわれており, サンアースはこの数値を十分満足する低抵抗率素材である。

サンアースには, 前述のように適量のセメントが配合されているので, 山岳地帯のように水の運搬が困難な地域でも, 土壌中の水分や降雨により敷設後セメントが土中で固化し, 結果的には導電コンクリートに近い状態となる。

したがって, 敷設後のサンアースが土壌中に流失するようなことはまったくなく, 化学的にも物理的にも非常に安定した接地電極として使用することができる。

5. サンアースによる帯状電極施工法(サンフレックスS工法)

直線状に施工した帯状電極により得られる接地抵抗(R1), および環状(ループ)または網状(メッシュ)に施工した場合に得られる接地抵抗(R2)は, 以下の式により求めることができる。なお, 下記式については, 多くの

ケーススタディにより精度向上が図られており, 大地抵抗率の設定に誤りがなければ, 非常に高い確率で事前に取得接地抵抗を予測することが可能である。巻末に, 帯状電極における接地抵抗早見表(大地抵抗率-施工長)を掲載したので参考にされたい。

帯状電極 R1

$$R1 = \frac{\rho}{2.73L} \log \frac{4L}{WD}$$

環状または網状電極 R2

$$R2 = \frac{\rho}{2.73L} \log \frac{2L^2}{WD} \times 1.12 \times M$$

ここで、L:埋設長(m)

ρ:平均大地抵抗率(Ω・m)

D:埋設深さ(m)

W:埋設幅(m)

M:メッシュ低減率

なお、以前は裸銅線を主電極に用いる工法としていたが、導電性ポリマーの開発に成功したことにより、主電極は導電被覆ケーブル（サンフレックス線）に変更している。

この導電被覆ケーブルは、コア材である銅線をポリオレフィンに特殊カーボンを練り込んだ導電性ポリマーで包みこんだものである。

6. 耐雷型接地への応用例

電力中央研究所報告“電力通信耐雷設計に関する実証研究（その2）T87525”では、サージインピーダンス（過渡接地抵抗）を低減する接地工法として、メッシュ接地にボーリング接地を併用する工法を推奨している。

一方、サンフレックスS工法の利点は、土壌と接する表面積を増大させるだけでなく、メッシュ接地も含めて自由な形状での施工が可能という点も併せ持っている。

ここでは、移動体基地局における耐雷接地工法を例にとり説明をおこなう。

（1）鉄塔基礎下への環状接地電極

写真1に示すように、鉄塔基礎下にサンフレックスS工法により環状接地電極を施工する。

一般に、構造物は広い面積で大地と接触しているため、低い接地抵抗値を示し、このような接地体を総称して構造体接地と呼ぶ。鉄塔基礎体も鉄筋を使用しているため、同様に構造体接地と見なすことができる。つまり、鉄塔基礎下に補助的に環状接地電極を設けることで、鉄塔基礎体が持っている低い接地抵抗値を有効的に活用できるため、大地抵抗率の高い場所などでは効果的である。



写真1 鉄塔基礎（構造体接地）を有効活用するための補助接地電極（サンフレックスS工法）

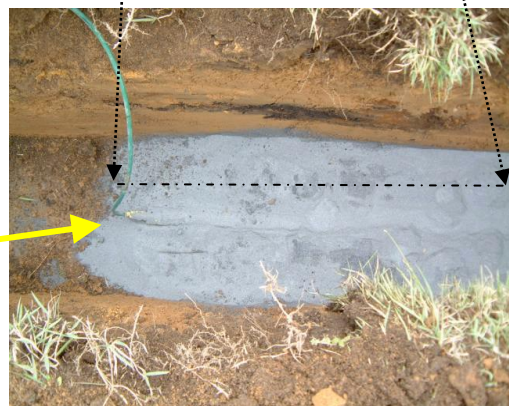
（2）敷地内へのメッシュ接地電極

写真2は、等電位化のため局舎を含む基地局の敷地全体に、サンフレックスS工法によるメッシュ接地電極を施した例である。

前述の鉄塔基礎下の環状接地電極と、このメッシュ接地電極を接続することによって、敷地内の等電位化を図り、落雷時の電位差によって機器が破損することを防止している。



写真2 敷地内のメッシュ接地



鉄塔基礎下の環状接地電極と、敷地内メッシュ接地電極（この他に、銅板や接地棒が併用されることもある）との合成接地抵抗値が、規定値を満足しない場合には、敷地に制約があるためボーリングによる追加設計が必要となる。

ボーリング接地電極により得られる接地抵抗（ R_b ）は以下の式にて得られる。

$$R_b = \frac{\rho m}{2.73L} \log \frac{4L^2}{d} \times k$$

ここで、 L ：施工長（m）

ρm ：等価大地抵抗率（ $\Omega \cdot m$ ）

d ：ボーリング掘削径（m）

k ：ボーリング地形係数

7. むすび

接地工法まで詳しく書かれた文献が少ないため、実際の工事となると、旧態依然の工法を採用する例が後を絶たないと聞いているが、最近では、新しい接地材料の開発や接地設計の精度向上により、接地工事そのものの簡便化が進んでいる。

文 献

- (1) 電気学会・電気通信学会「日本の大地導電率」
- (2) 川瀬太郎著「現場の技術と接地システム」オーム社
- (3) 川瀬太郎監修／高橋健彦著「図解 接地技術入門」オーム社
- (4) 高橋健彦著「図解 接地技術入門」オーム社
- (5) 電力中央研究所報告“電力通信耐雷設計に関する実証研究（その2）T87525”

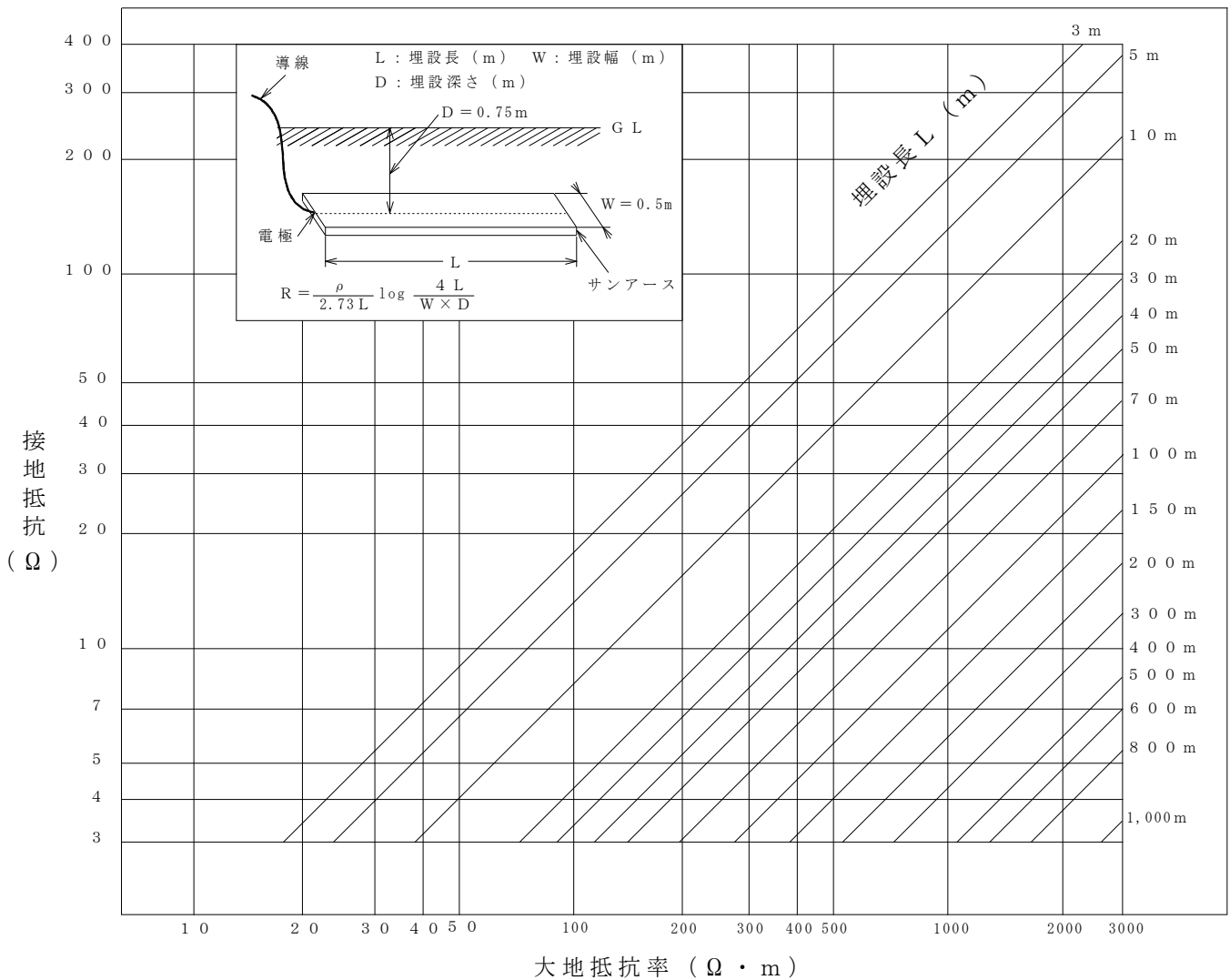


図5 帯状電極における接地抵抗早見表（大地抵抗率－施工長）