

傾斜地設置型/営農型/水上設置型

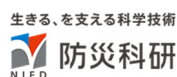
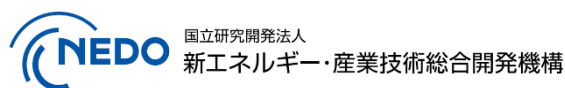
太陽光発電システムの設計・施工ガイドライン 2023 年版

技術資料：

小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の
接地抵抗測定技術に関する実験

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。

2023 年 4 月 28 日



小型・可搬型の接地抵抗計を用いた太陽光発電設備の接地抵抗測定技術に関する実験

1. 概要

太陽電池モジュールとその支持物（架台および基礎）で構成される太陽光発電設備の非充電の露出導電性部分は、接地電極との接続および設備内での等電位ボンディングにより、大規模かつ複雑な接地体（接地抵抗を測定する対象物）となっている。接地電極の構造が単純あるいは小規模な場合は、接地電極を設備側と分離して接地抵抗を測定することで、電極と接続する設備の接地抵抗の最大値を確認することができる。しかし、接地電極自体が大規模あるいは複雑な場合、また分離が困難な場合や太陽電池モジュールや支持物に対する接触電圧を確認する場合などで電極と設備を接続した状態での測定が必要な場合は、接地体の設備規模（対角距離など）の数倍程度離れた位置に測定用の補助電極を設置する必要があるとされており、大規模な測定装置の導入や補助電極の設置場所の確保、測定装置との電気的な接続などが難しい場合がある。

本資料では、大規模な太陽光発電設備の保守点検時等において、市販の小型・可搬型の接地抵抗計を用いた測定時の留意点および接地抵抗値を推定する方法も参考として紹介する。

2. 一般的な接地抵抗測定

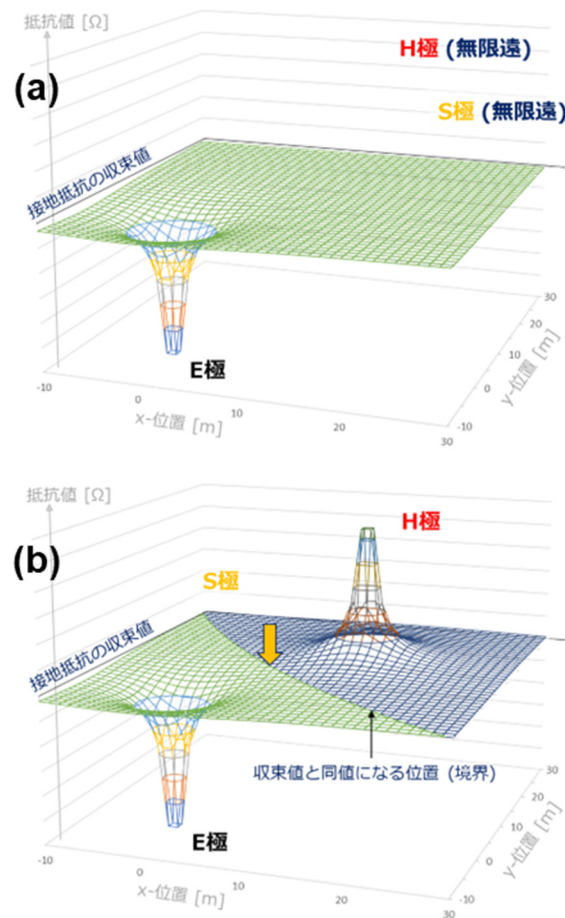
接地抵抗を測定する方法は、電位降下法（Fall-of-potential method : FOP 法）が最も一般的である¹⁾。また、測定対象の接地抵抗値は、FOP 法により測定された抵抗値の空間分布において Flat slope 法を適用して決定することが広く行われている²⁻⁷⁾。

太陽光発電設備の接地極は意図せず大規模で複雑な構造になっている場合もあり、Flat slope 法を適用するためには、測定用の補助電極の設置位置について、直線上以外の配置や補助極の間隔を広げるなど、測定機器の取扱説明書から逸脱した工夫が必要な場合もある。本資料では、接地抵抗測定には日置電機（株）製の接地抵抗計 FT6031 および補助接地極 L9840 を使用した。

3. 接地抵抗の測定方法の原理

FOP 法の原理では、地表面に設置された接地極（E 極）から周囲の地表面および地面内部に向かって等方的に電流を無限遠まで通電する系を想定する。このとき、無限遠に設置された電圧補助極（S 極）によってのみ E 極の接地抵抗（正確には E 極と無限遠との電位差）の最大値（真値）が測定可能で、有限距離に設置された S 極で測定できる抵抗値は真値よりも小さくなる（図 3-1 (a)）。ところが、実際の測定では大地を経由して E 極に電流を通電する電流補助極（H 極）も有限距離に設置するため、接地抵抗を測定する空間（地表面）内では E 極の接地抵抗に H 極の接地抵抗が重畳する。このため、E 極と H 極の間にある曲線上に「真値と同じ抵抗値」を示す場所が現れる（図 3-1 (b)）^{2,3,7)}。実際の測定現場において、これらの場所を特定することは困難であるが、抵抗値の空間分布における変化量が小さい

領域は、真値よりもやや小さい E 極の接地抵抗に対して僅かに H 極の接地抵抗が重畳した状態と推定できる。そのような領域は真値と同じ抵抗値を示す場所を含んでいる、もしくはそのごく近傍にあり、その領域内で測定された抵抗値は真値に程近いとするのが Flat slope 法の考え方である。ここで重要なことは、Flat slope 法が適用できる領域は E 極と H 極を結ぶ直線上だけに存在するのではなく、地表面上では 2 次元的な領域として広がっており、E 極と H 極を結ぶ任意の曲線上に存在することである（図 3-2）。



(a) 理想的な測定 (b) 現実的な測定

図 3-1 FOP 法における接地抵抗の 2 次元空間分布の概略図

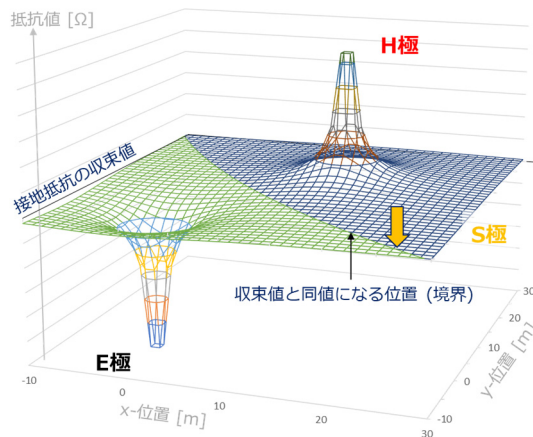


図 3-2 E-H 線のうち S 電極による接地抵抗測定の概略図

(1) 電圧極 (S 極) を設置できる位置

E 極と H 極の両極から適度に離れた位置には、Flat slope 法が適用できる (抵抗値の空間分布における変化量が小さい) 領域が地面上で 2 次的に広がっている。その領域内に S 極を設置することで真値に近い接地抵抗値を測定可能であることから、S 極は必ずしも E 極と H 極を結ぶ直線上に設置する必要はない³⁻⁵⁾。これについて、産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所 (FREA、福島県郡山市) の敷地内で検証実験を行った。接地極および接地補助極として日置電機 L9840 を使用し、S 極の配置を以下の 3 通りに変化させた場合に E 極の接地抵抗を測定した。

- (a) H-E 極を結ぶ線分を内分する配置 [標準式]
- (b) H-E 極を結ぶ線分を外分する配置 (E 極が中央)
- (c) H-E 極を結ぶ直線上以外に配置

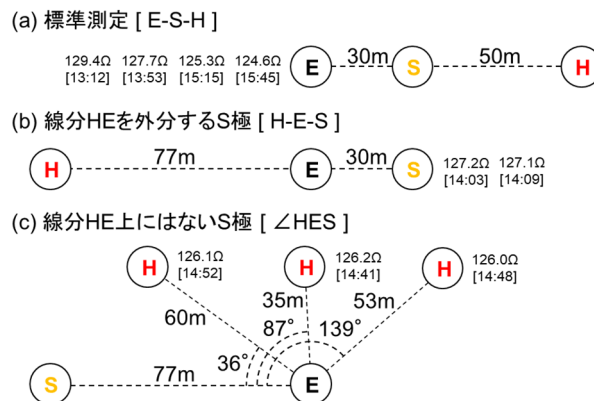


図 3-3 電極配置と E 電極の接地抵抗の測定結果の概略図

電極配置の概要の模式図および E 極の接地抵抗測定値および測定時刻を図 3-3 に示し、測定結果の時系列を図 3-4 に示す。配置 (b) と (c) で約 1Ω の差が見られるが、配置 (a) の測定値の経時変化と連続性を示していることから、測定値には配置の違いによる顕著な差は生じないことが確認された。

図 3-5 には、半球状の電流電極の周囲の接地抵抗分布の概略図を示す。理想的な測定で得られた値と同じ値が、電流電極の周りの閉じた曲線上に現れている。なお、S 極の設置位置について「 $\angle HES$ が 30° 以下であれば誤差の小さい測定が可能」との誤解がある。これは、半球状電極を用いた場合の計算において、真値と同じ抵抗値を示す場所が H 極を囲む閉曲線上に現れ、その閉曲線の広がりが直線 EH に対して最大で 28.95° になることに由来していると考えられる^{3,7)}。

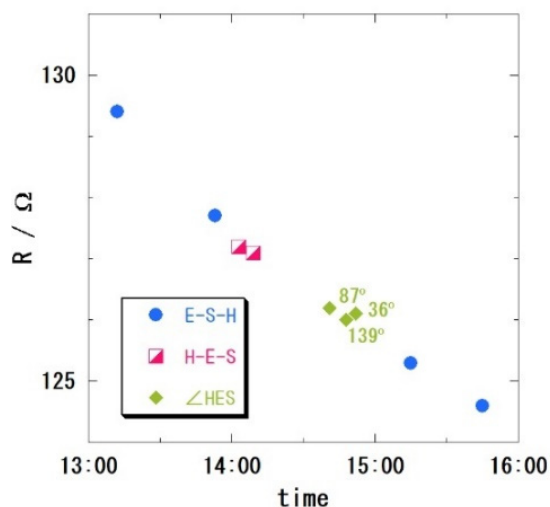


図 3-4 E 電極の接地抵抗-時間の関係

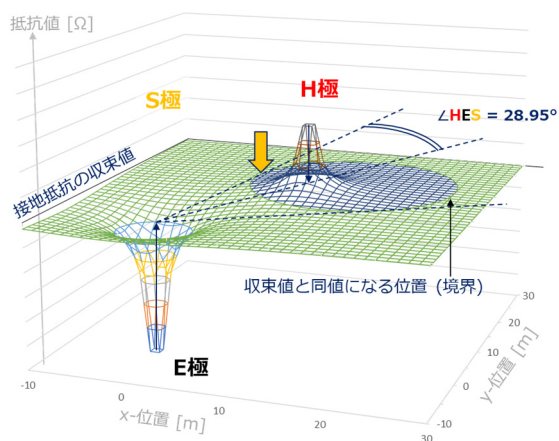


図 3-5 半球状の電流電極の周囲の接地抵抗分布の概略図

(2) 電流極 (H 極) による接地抵抗の重畳量

H 極の抵抗値について空間分布 (いわゆる抵抗区域) を定量的に見積もる。H 極の電極形状を図 3-6 に示すような下端が半球状の円柱形とし、上端が地表面と同じ高さになるように埋設する。

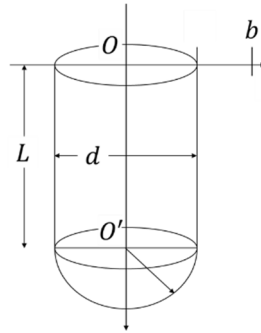


図 3-6 電極形状

ここで、電極表面から垂直に無限遠に向かって電流が流入出する系を考えると、電極の回転対称軸と地表面との交点を原点として、原点から距離 b [m] の位置で測定される H 極の接地抵抗値 $R_H(b)$ [Ω] は、大地抵抗率 ρ [$\Omega \cdot \text{m}$]、電極の円柱部の長さ L [m]、円柱および下端半球の直径 d [m] を用いて式 (3.1) で表せる⁸⁾。

$$R_H(b) = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(\frac{1 + \frac{2L}{d}}{1 + \frac{L}{b}} \right) \dots\dots\dots (3.1)$$

式 (3.1) では無限遠 ($b \rightarrow \infty$) で H 極の接地抵抗値となるが、無限遠での値をゼロとして電極表面で接地抵抗値が得られる系に変換すると、式 (3.1) は次のように記述できる。

$$R_H(b) = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left(1 + \frac{L}{b} \right) \dots\dots\dots (3.2)$$

このとき、電極表面 ($b=d/2$) での抵抗値は次式となる。

$$R_H \left(\frac{d}{2} \right) = \rho \cdot \frac{1}{2\pi L} \ln \left(1 + \frac{2L}{d} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

式 (3.3) において、右辺の ρ を除く項は電極の形状のみに依存する項 (形状因子 : f) で、日置電機 (株) 製の補助接地極 L9840 ($L=23.5\text{cm}$ 、 $d=6\text{mm}$) では 2.96 程度になる。左辺に実測した H 極の接地抵抗値 R_H を採用すると、大地抵抗率が概ね次式で見積もれる。

$$\rho = R_H / 2.96 \dots\dots\dots (3.4)$$

ここで、電極から十分遠方 ($b \gg L$) における式 (3.2) の近似式と式 (3.4) を用いると、距離 b [m]における H 極からの接地抵抗の重畳量は以下のように見積もれる。

$$R_H(b) \cong \frac{\rho}{2\pi b} = \frac{R_H}{18.6 b} \dots\dots\dots (3.5)$$

例えば、H 極の接地抵抗値が 200Ω であった場合、H 極と S 極の間隔が 10m であれば、S 極で測定された E 極の接地抵抗値には概ね 1Ω 程度の H 極による重畳分が見込まれる。FREA 内で実施した測定における $R_H=190\Omega$ および 140Ω の場合の $R_H(b)$ について、電極からの距離依存性の結果を図 3-7 に示す。E 極の測定値に重畳した量は S-H 極間の距離 b に概ね反比例しているが、H 極から 10m の距離付近における重畳量はいずれも 0.5Ω 程度である。これは形状因子 f が約 2 倍程度大きいことに帰着できることから、式 (3.2) の関係より電極と大地との接触状態の善し悪しを反映する格好で電極の有効長が半分程度であったためと考えられる。

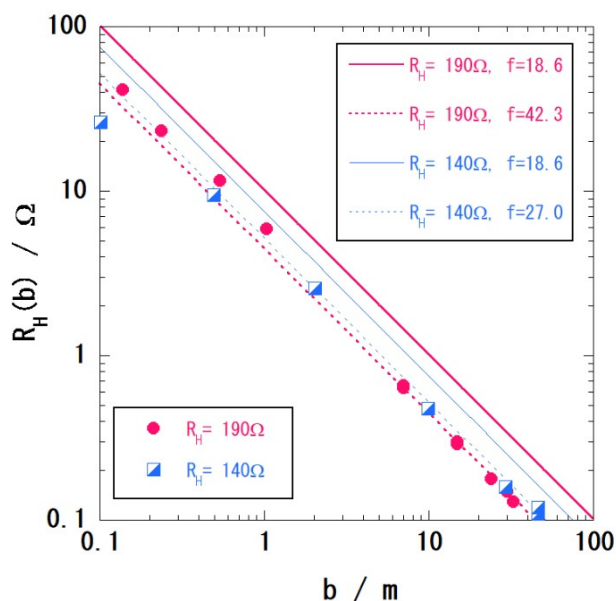


図 3-7 H 電極による E 電極への重畳量と接地抵抗 (プロットは測定値、線は計算値)

太陽光発電設備の接地抵抗が数 $\sim 10\Omega$ 程度であれば、H 極の接地抵抗値が数 100Ω 程度でも S-H 極間を 20m ほど確保することで H 極による重畳量を相対的に小さく (概ね 10% 以下を期待) できるため Flat slope 法による抵抗値の決定は比較的容易であるが、抵抗値がより小さい太陽光発電設備の場合、測定の精度を維持するためには、S-H 極間の距離を広げて重畳分を減らす必要がある。これらを考慮して、測定の目的に応じた精度と電極間の距離を設定することが望ましい。

4. 太陽光発電設備での接地極の形態

太陽光発電設備では集中極を施設するのが一般的である。また、太陽電池モジュールを支持する架台は金属製材料のみ、あるいは金属製材料とコンクリートによる構造物であるものが多く、これらは大地と電氣的に接続している場合も多い。このとき、太陽電池モジュールの非充電金属部と金属架台を接続する、あるいはこれらが接触することで、集中極を經由する以外の経路でも接地の機能が発現し、集中極と架台による並列極が形成される。並列極が近接している領域では、各電極の近傍である効果と複数電極が並列接続している効果の相乗により、太陽光発電設備領域内で測定される接地抵抗値は、太陽光発電設備から十分遠方で測定される接地抵抗値と比較して著しく小さい値となる。

(1) 接地極の並列性

架台を構成する材料やその構造は多岐にわたるが、代表的な架台構成について図 3-8 (a)～(d) に例を示し、その並列性について述べる。

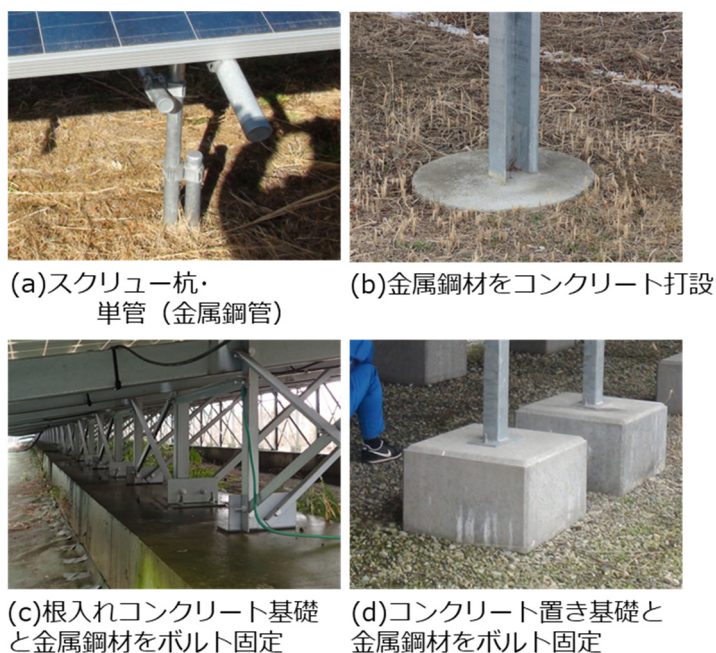


図 3-8 太陽光発電設備の架台、フレームと地盤の接合部の例

- a) スクリュー杭・単管（金属鋼管）などを直に大地に打ち込む架台（図 3-8 (a)）では、金属と大地が直に接することで、架台脚の各々が大地と比較的良好な電氣的接続を確立するため並列性は高い。ただし、各脚の導電性は必ずしも均一ではない。
- b) 金属鋼材をコンクリート打設した架台では、大地とコンクリートの間、並びにコンクリートと金属鋼材の間で密着性は高く、接触面積もある程度確保できることから、架台脚の各々が大地と比較的良好な電氣的接続を確立できて並列性は高い。FREA に設置され

ているコンクリート打設された架台脚の単脚（コンクリート部：直径 50cm×地中深さ 140cm、一辺が約 10cm のコの字型鋼材がコンクリート部に 45cm 埋没、図 3-8 (b)）の例では、接地抵抗値は 28Ω であった。

- c) 根入れコンクリート基礎へ金属鋼材をボルト固定した架台では、根入れコンクリート基礎と大地とは接触面積も大きいため比較的良好な電氣的接続が確立されるが、鋼材とコンクリートの接続は接触面積が小さい上に密着性も良くないため並列性は高くない。ただし、偶発的に電氣的に良好な接続が確立されている場合や、雨水等の侵入により接続状況が改善する場合もあり、長期的には不安定であるが並列性を有すると考えるのが無難である。なお、コンクリートに埋め込まれたボルトではコンクリートとの接触面積が小さい場合が多く、導電性はあまり期待できない。FREA 内に設置されている根入れコンクリート布基礎架台（東西幅：約 20m、南北幅：約 0.8m、図 3-9 (a)）について接地抵抗を測定したところ、コンクリート基礎部の接地抵抗値は 3.6Ω 程度であったが、金属鋼材部とコンクリート部の接続部（金属部の断面積：12cm×11cm、図 3-9 (b)、1 基礎あたり 9 カ所の並列接続）は比較的电氣的接続が良好な架台で 2.4Ω、比較的电氣的接続が不良な架台で 212Ω と見積もられた。また、比較的电氣的接続が不良であった架台の接続部に水を注入したところ 74Ω まで抵抗値が低下した。



図 3-9 根入れコンクリート基礎とコンクリート基礎と金属鋼材の接合部

- d) コンクリート置き基礎へ金属鋼材をボルト固定した架台では、鋼材とコンクリートとの接続については前項同様に不安定な並列性で、さらにコンクリートと大地との接続は根入れ基礎ほどの密着性が期待できないため、並列性はさほど考慮する必要はないと考えられる。ただし、基礎の大きさや数、さらに天候や気候によっては補助的に寄与する場合もあり得ることは覚えておきたい。コンクリート置き基礎と大地の接続の例として、福島県内の太陽光発電設備で使用されていた置き基礎（幅 3m×奥行き 2.5m×高さ 0.6m、図 3-10）について、基礎部上面から見た接地抵抗値は約 32Ω と見積もられた。

また模擬例として、FREA 玄関前に設置されているバス停標識柱（コンクリート基礎：直径 50cm、金属製の L 字型鋼材が埋め込み）の接地抵抗の温度依存性を測定した結果、コンクリート基礎の温度上昇に伴って日中に 1270Ω 程度まで抵抗値が減少したが、温度が低下する夜間や早朝には測定器の検出限界である 2000Ω を超えており、抵抗値の絶対値および日変動幅が大きくなる傾向にあった。



図 3-10 太陽光発電設備のコンクリートの置き基礎

(2) 電流極の設置位置

FREA 内の 250kW-太陽光発電設備（架台脚の接地領域：東西 43m×南北 112m、コンクリート打設の架台脚：図 3-6 (2) ×396 本、すべての PV モジュールおよび架台は等電位ボンディングで連結、設備西側の建屋内に集中極を施設）において、太陽光発電設備敷地の内外に H 極を設置して接地抵抗測定を実施した。設備の南西の角から 12m 北側の架台脚に E 極を接続した。E 極に対して、西へ 81m、南へ 33m、東へ 8m（太陽光発電設備敷地内）、東へ 30m（太陽光発電設備敷地内）の位置にそれぞれ H 極を設置した場合に、E 極に対して西側に設置した S 極（E 極から 3m、10m、50m）により接地抵抗を測定した。この事例について、電極の設置位置の概略図および測定結果を図 3-11 および図 3-12 に示す。H 極が南 33m（太陽光発電設備端からは 21m）では、S 極が太陽光発電設備から西へ離れるにしたがって、 0.2Ω 程度で収束する傾向を示した。西 81m では太陽光発電設備近傍において南 33m と同傾向であったが、S 極が 50m の位置では H 極の抵抗値が 0.05Ω 程度重畳した。東 30m では、収束値が 0.1Ω 程度を示した。これは、H 極が並列極と見なされる架台脚により囲まれることで太陽光発電設備敷地外への通電量が減少し、S 極付近での電位差が減少したためと考えられる。また、東 8m では H 極の抵抗値が重畳することで、太陽光発電設備から遠ざかるほど抵抗値が減少して見えた。

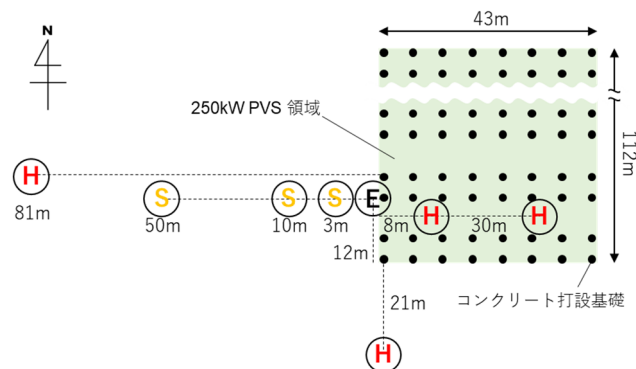


図 3-11 太陽光発電設備の接地抵抗を測定するプローブ配置の概略図

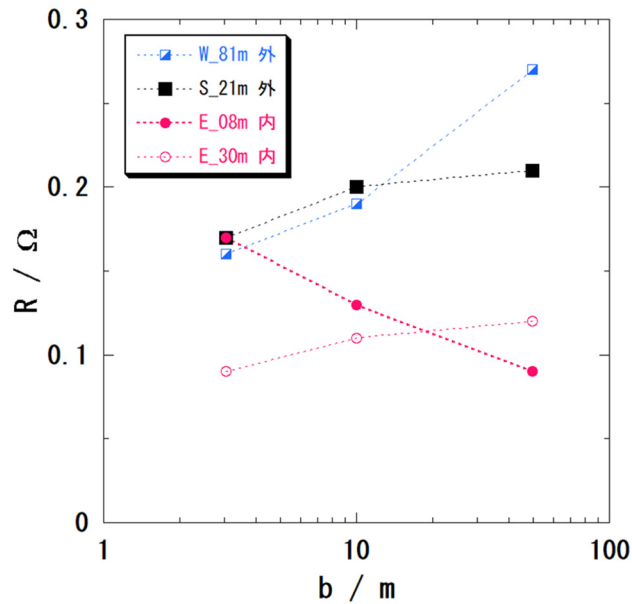


図 3-12 太陽光発電設備の内外に設置した電流プローブによる接地抵抗の測定結果

この事例のように架台脚による接地の並列性が高い場合、H 極を架台脚の近傍（特に太陽光発電設備敷地内）に設置すると、H 極と近接する一部の接地極との間に偏った電流が流れるため、H 極からの電流や接地システムへ電流が等方的に流入出するという電流経路が成立せず、FOP 法の原理が成立しない。したがって、H 極の抵抗値が有意に重畳する領域に E 極が存在しないことを H 極からの電流の流入出の等方性が近似的に成り立つ条件と仮定して、重畳量が十分小さくなる距離を式 (5) によって見積もり、少なくとも見積もった距離分だけ太陽光発電設備敷地外へ離れた位置に H 極を設置して測定を実施するのが適切と考えられる。接地システムの抵抗区域外に H 極を設置するのが理想であるが、実現不可能な場合もあるため、要求する測定精度を把握した上での作業が必要である。

なお、架台脚による接地の効果が顕著ではなく並列性が乏しい場合は、集中極について太陽光発電設備敷地内を含む任意の場所で FOP 法による測定に Flat slope 法を適用して接地抵抗値を決定すれば良い。

5. 双曲線近似による絶縁抵抗値の推定

棒状電極の抵抗値は電極から十分離れた位置では半球状電極と同様に電極からの距離に反比例して収束値に漸近すると見なせる。また、これまでの経験ではどの規模の接地体でも同様の傾向は見られる。これは並列極を構成する各々の極が距離に反比例して収束する傾向を有することに起因すると考えられる。そこで、接地抵抗値の空間分布 $R(b)$ [Ω] が距離 b [m] に反比例する形で近似できると仮定する。

$$R(b) = \alpha \left(1 - \frac{\lambda}{b-\delta}\right) \quad (\alpha, \lambda > 0) \dots\dots\dots (5.1)$$

ここで、 $\alpha[\Omega]$ は無限遠における接地抵抗の収束値、 $\lambda[\text{m}]$ は変化の割合を示し抵抗区域の広さの目安になる変数で、 $\delta[\text{m}]$ は調査域からみた見かけの接地極の原点で、接地極に近い測定点の双曲線近似からのズレを吸収する役割も担っている。変数を3つ使用するため、仮の原点を基点とする任意の直線にそって抵抗値の位置依存性を (b_1, R_1) 、 (b_2, R_2) 、 (b_3, R_3) のように3組測定して式(5.1)へ代入すると、連立方程式を解くことで収束値 α を以下の式で計算できる。

$$\alpha = \frac{(b_3 R_3 - b_2 R_2)(R_2 - R_1) - (R_3 - R_2)(b_2 R_2 - b_1 R_1)}{(b_3 - b_2)(R_2 - R_1) - (R_3 - R_2)(b_2 - b_1)} \dots\dots\dots (5.2)$$

この手法では、抵抗値の変化を利用して収束値を推定するため、抵抗区域内すなわち太陽光発電設備の近傍で測定を実施できる利点がある。なお、パーソナルコンピュータ等を用いれば4点以上の測定点による回帰分析を行うことで収束値を推定できるが、式(5.1)はあくまで適用範囲のある近似式であることから、いたずらに測定点数を増やしても推定値の精度が向上するわけではない。

FREA 内の 250kW-太陽光発電設備（架台脚の接地領域：東西 67m×南北 50m、根入れコンクリート基礎上に金属鋼材をボルト止め：図 3-9×42 個、すべての PV モジュールおよび架台は等電位ボンディングで連結、設備北側の敷地内に接地棒 6 本を並列施設）において、太陽光発電設備端から約 25m 以内での接地抵抗測定値の距離依存性の測定結果の例を示す。代表点 3 点により、太陽光発電設備の接地抵抗値を 0.78Ω と推定した例について、その測定概要を図 3-13 に、データ解析結果を図 3-14 に示す。設備の南東の角から約 10m 北側の架台の金属鋼材に E 極を接続し、E 極に対して東側に設置した 10 数点の S 極のうち比較的直線状に並んだ 3 点の測定値で双曲線関数を構築し、無限遠における収束値を計算した。H 極の接地抵抗値は 140Ω 程度と比較的小さかったが、H 極から 10m 離れた位置では 0.3Ω 程度、30m 離れた位置でも 0.1Ω 未満ながら僅かに重畳の影響が見られた。収束値の推定に用いた点は H 極から 60m 以上離れており、重畳の影響はほぼ無視できると考えられる。

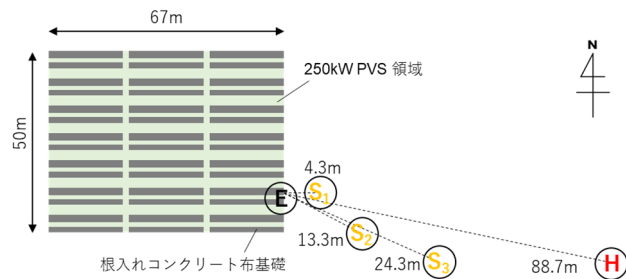


図 3-13 接地抵抗が変化する領域での 3 点測定の概略図

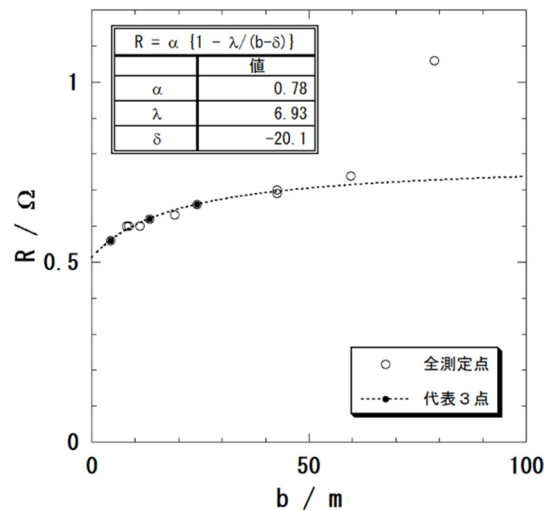
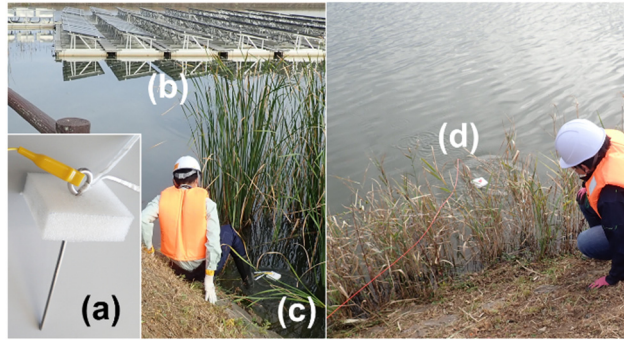


図 3-14 双曲線関数を用いた接地抵抗の推定例

6. 水上設置型太陽光発電設備における接地抵抗測定

水については大地と同じ取り扱いができることが報告されている⁹⁾。図 3-15 にため池に設置された 50kW-水上設置型太陽光発電設備（福島県檜葉町）において、接地抵抗測定した結果の例を示す。水上太陽光発電設備の架台（地上に設置された接地極と接続）に測定器の E 極を接続し、50m の延長テストリードで伸長して岸付近の水面上に設置した S 極および H 極により測定された接地抵抗値は 1.2Ω で、補助極を大地に設置した場合は 1.7Ω であった。S-H 極間が 10Ω 程度で、大地に設置した H 極の接地抵抗値 ($1k\Omega$) が水面設置の約 2.5 倍であったことから H 極による接地抵抗値の重畳を加味すると、2 つの測定値はほぼ同程度と考えられる。したがって、水上設置型太陽光発電設備のフロート近傍の水面に補助接地極を設置することで、地上に設けられた接地極の接地抵抗を測定することも可能であり、電極の間隔についても地上設置の場合と同様に扱えると考えられる。また、フロートの並列極性についても太陽電池モジュールの非充電の露出導電性部分もしくはそれと連結されている金属製架台フレーム部と水面との電気伝導性に関する考察により判断できる。なお、水温や水質にもよるが抵抗率は $100\Omega \cdot m$ 程度であることも多く、この事例の測定では $131\Omega \cdot m$ と推定された。



(a) フローティング材を用いた補助プローブ
 (b) 水上型太陽光発電設備 (E 電極) (c) 水面上に設置された S 電極
 (d) 水面上に設置された H 電極

図 3-15 水上型太陽光発電設備の接地抵抗測定

7. まとめ

市販の小型・携帯型接地抵抗計を用いて太陽光発電設備の接地抵抗測定を実施する際の留意点を列記した。測定対象が集中極型であるか並列極型であるかを架台の構造等から判断できれば有益である。E 極に対して S 極と H 極を一直線上に設置する必然性は必ずしもないため、E、S、H の 3 極を三角形に配置にすることで、測定に必要な空間を縮小できる。このとき、H 極の接地抵抗が E 極の接地抵抗へ重畳（すなわち S 極に影響）する量は、H 極の接地抵抗値に比例し、H-S 極間の距離に反比例する。また、H 極の形状因子を算出することで重畳量の絶対値も概ね推察できることから、E 極の接地抵抗の絶対値を加味して、必要な測定精度を確保できる設置場所と H-S 極間の距離を決定することが肝要である。また、H 極で流入出する電流の等方性を E 極に対して確保するためには、H 極を並列極 (E 極) の領域の外側に設置する必要がある。また、E 極の領域端から H-S 極間に必要な距離と同程度を確保した H 極を使用して測定を行い、測定結果を吟味して H 極の位置を確認することが肝要である。

S 極の設置に必要な空間を縮小する方法として、抵抗区域内で測定した接地抵抗の位置に関する依存性を双曲線により外挿することで接地抵抗値を推定する方法を紹介した。この手法の実施を含め、50m 程度のテストリード線を複数本準備しておくことは有益である。

参考文献

- 1) P. D. Morgan and H. G. Taylor, Measurement of the resistance of earth electrodes, World Power, 21, 22-27, 76-81, 131-135 (1934) .
- 2) E. B. Curdts, Some of the fundamental aspects of ground resistance measurements, AIEE Transactions, 77 Part I, 760-767 (1958) .
- 3) G. F. Tagg, Measurement of earth-electrode resistance with particular reference to earth-electrode systems covering a large area, Proc. IEE, 111, 2118-2130 (1964) .

- 4) IEEE Power and Energy Society, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, IEEE Std 81-2012 (2012) .
- 5) Megger, Getting Down to Earth - A practical guide to earth resistance testing, <https://megger.com/>
- 6) 川瀬太郎著, 新電気シリーズ 地絡保護と接地技術, (1977), オーム社, 東京.
- 7) 高橋健彦著, 川瀬太郎監修, 図解 接地技術入門, (1986), オーム社, 東京.
- 8) A. C. Liew and M. Darveniza, Dynamic model of impulse characteristics of concentrated earths, Proc. IEE, 121 (2), 123-135 (1974) .
- 9) 例えば, J. W. Ko et al., Safety Analysis of Grounding Resistance with Depth of Water for Floating PVS, Energies 2017, 10, 1304;doi:10.3390/en1009130

この成果物は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP20015）「太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の長期安定電源化技術開発」事業の結果として得られたものです。