

電気設備の経済的な 接地設計

志賀 悟 田中直隆

1

はじめに

低圧電路から特別高圧電路まで、電気設備（機械器具）を使用する場合、感電防止を目的に「接地工事の種類と接地抵抗値」が電気設備の技術基準の解釈（以下電技と呼ぶ）17条に規定されている。しかし、接地抵抗を確保するための工法や手順については記述されていない。今回、経済的な接地設計に必要な各種工法について調査したので概要を紹介する。

2

接地工事の種類(1)

電技17条には表1に示す接地工事の種類と抵抗値が規定されている。A種およびB種接地工事は107年前に規定され、構造体利用接地は国際規格（IEC）をベースとして最近制定されている。抵抗値の設定は電気安全性を考慮の上、国内土壤での調査から、取得可能な数値を設定しているようである。

3

接地極工法の種類と特長

工法としては、接地極を地中に深く埋設する垂直工法と地中1m程度で水平に埋設する水平工法および建物の金属構造体利用に大別される。表2に8種類の工法の特徴を示す。土壤の大地抵抗率 ρ が比較的高い $300\Omega\text{m}$ 以上になると電極長を40m以下に限定した場合、単独で、A種接地工事に適用できる工法はボーリング工法と帯状電極（接地抵抗低減剤利用）およびメッシュ工法に絞られる。構造体利用で $\rho=300\Omega\text{m}$ の場合、接地抵抗値 2Ω では地下部の表面積は $35,600\text{m}^2$ 以上が必要となる。

4

接地抵抗取得のための手順

接地抵抗 R は接地電極と土壤の接触抵抗および接地極周囲の大地抵抗率 ρ に支配される。一般的には $R=\rho\times F$ で表される（ F ：電極の形状と寸法や長さで決まる関数）。従って、手順は以下となる。

種類	接地抵抗値 (Ω)	機械器具の使用電圧区分 (第29条)	制定日	抵抗値決定の根拠
A種 接地工事	10Ω以下	高圧又は特別高圧	明治44年9月 (1911年)	当時実現できる最低の数値と推定される。
B種 接地工事	$\frac{150}{lg}$	高圧又は特別高圧と結合する低圧電路の接地	明治44年9月 (1911年)	一般の屋内配線は大地に対して150V以下で供給されている。高圧と低圧が混色時150Vを超えないように定めた。
C種 接地工事	10Ω以下	300V超過	昭和38年7月 (1963年)	—
D種 接地工事	100Ω以下	300V以下	大正8年10月 (1919年)	低圧機器が漏電した場合、簡単な接地でも感電の危険が減少できる。100Ωは比較的簡単に得られる値であったと推定される。
構造体利用 接地工事	2Ω以下、または高圧・特別高圧の一線地絡時50V以下	建築物の鉄筋・鉄骨その他の金属体と大地間抵抗	平成25年10月 技術基準改正	地絡時の電位上昇を50~60V以下とするために2Ω以下としている。

表1 接地工事の種類（電気設備の技術基準の解釈 17条）

種類	垂直 工法	水平 工法	特長	適用範囲 ($\rho = 300 \Omega m$ で 長さ：40m までの場合)
棒状（アース棒）	○		簡単、安価	D種接地工事
板状（銅板）		○	簡単	同上
線状（埋設地線）		○	簡単、安価	同上
带状接地		○	簡単	同上
带状＋低減剤		○	高大地抵抗地帯で有効	A種接地工事
メッシュ接地		○	特高変電所で採用されている	A種接地工事 (面積:12m×12m)
深埋設（ボーリング）	○		狭い土地で有効、高価	A種接地工事
構造体利用	○		大規模建物で採用される	2Ωの場合、地下部表面積は35,600m ² 以上

表2 接地極工法の種類のと特長

- ①目標接地抵抗値の決定
- ②接地極打設場所の把握（土質や面積）
- ③大地抵抗率 ρ の測定
- ④最適な接地工法の選定，設計および工事
- ⑤接地抵抗の正しい測定

大地抵抗率の測定はウエンナーの四電極法が採用されている。

5 工法による接地抵抗算出式と計算例(2)

接地工法は古くから研究され、工法ごとに計算式が提案されている。ここでは実用化されている垂直工法（3方式）と水平工法（5方式）について計算式と計算例を紹介する

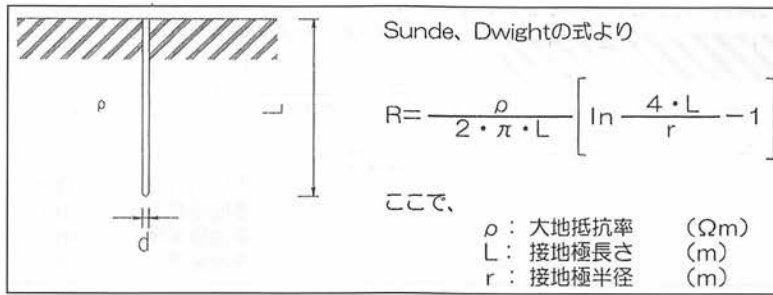


図1 棒状接地の構成と計算式

大地抵抗率 ρ (Ωm)	接地極長さ (m)					
	1本	2本並列	3本並列	4本並列	5本並列	6本並列
100	62	31	21	16	12	10
300	184	92	61	46	37	31
600	367	184	122	92	73	61
900	550	275	183	138	110	92

表3 棒状接地極の計算例

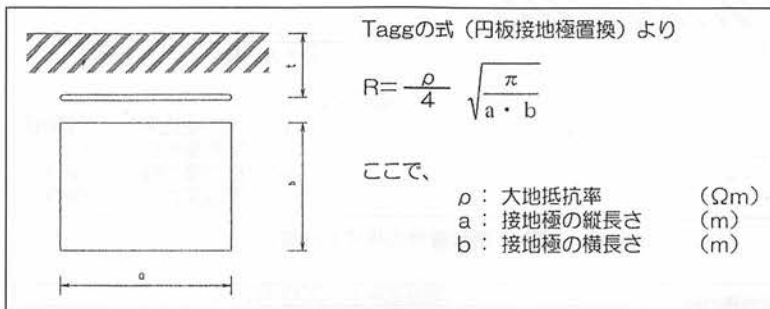


図2 板状接地の構成と計算式

大地抵抗率 ρ (Ωm)	接地極長さ (m)				
	1枚	2枚並列	4枚並列	5枚並列	6枚並列
100	50	25	13	10	8
300	148	74	37	30	25
600	296	148	74	59	49
900	443	222	111	89	74

表4 板状接地極の計算例

1. 棒状工法

工法が簡単で安価であるため、広く採用されている。図1に電極構成および計算式、表3に計算例を示す。標準接地棒 (φ14, 長さ1.5m) で $\rho=300\Omega\text{m}$ の場合、6本並列でも31Ωとなる。

2. 板状工法

図2に電極構成および計算式、表4に計算例を示す。標準接地板 (0.9m×0.9m 1.5 t) で

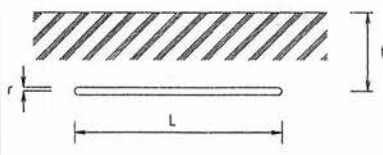
$\rho=300\Omega\text{m}$ の場合、6枚並列でも25Ωとなる。

3. 線状 (埋設地線) 工法

図3に電極構成および計算式、表5に計算例を示す。接地線を60mm、深さ=0.75mで $\rho=300\Omega\text{m}$ の場合、長さ50mでは12Ωとなる。

4. 带状接地

図4に電極構成および計算式、表6に計算例を示す。接地極の幅を23cm、深さ0.75mで ρ



Sunde, Schwarzの式より

$$R = \frac{\rho}{\pi \cdot L} \left[\ln \frac{2 \cdot L}{\sqrt{2} \cdot r \cdot t} - 1 \right]$$

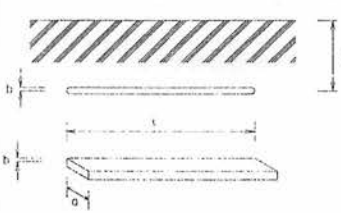
ここで、

- ρ : 大地抵抗率 (Ωm)
- L : 接地極長さ (m)
- r : 接地極半径 (m)
- t : 埋設深さ (m)

図3 線状接地の構成と計算式

大地抵抗率 ρ (Ωm)	接地極長さ (m)				
	L=1	L=5	L=10	L=20	L=50
100	66	24	14	9	4
300	196	70	42	25	12
600	392	140	84	49	23
900	588	210	125	73	35

表5 線状接地極の計算例



Tagg, Dwightの式

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{w \cdot t}$$

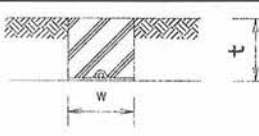
ここで、

- ρ : 大地抵抗率 (Ωm)
- L : 接地極長さ (m)
- a : 接地極の幅 (m)
- t : 埋設深さ (m)

図4 帯状接地の構成と計算式

接地極の形状	大地抵抗率 $\rho=300$ (Ωm)						
	L=1	L=5	L=10	L=20	L=30	L=40	L=50
帯状接地極	119	55	34	21	15	12	10

表6 帯状接地極の計算例



$$R = \frac{0.7 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \ln \frac{2 \cdot L^2}{w \cdot t}$$

ここで、

- ρ : 大地抵抗率 (Ωm)
- L : 接地極長さ (m)
- w : 接地極の幅 (m)
- t : 埋設深さ (m)

図5 帯状接地+接地低減剤の構成と計算式

接地極の形状	大地抵抗率 $\rho=300$ (Ωm)						
	L=1	L=5	L=10	L=20	L=30	L=40	L=50
帯状接地極 (メッシュ+EP1)	56	33	21	13	9.5	7.6	6.4

表7 帯状接地極と帯状接地極+低減剤 (EP-1) の計算例

=300Ωmの場合、長さ40mでは12Ωとなる。

深さ0.75mで、 $\rho=300$ Ωmの場合、長さ40mでは7.6Ωとなり、A種接地工事に適用できる。

5. 帯状接地+接地抵抗低減剤⁽⁴⁾

図5に電極構成と計算式、表7に計算例を示す。

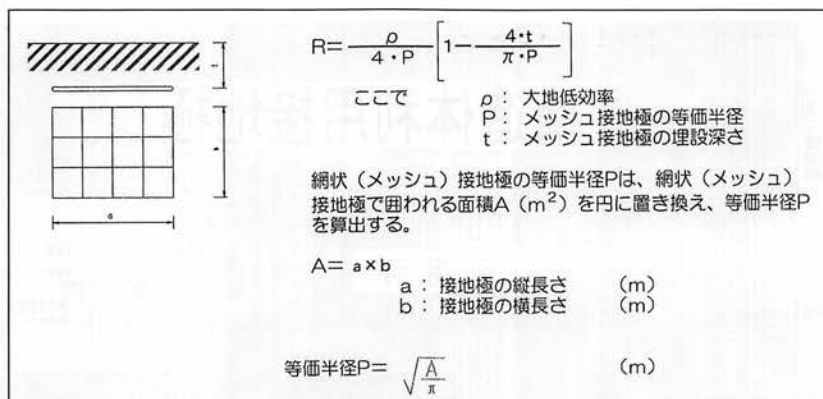


図6 メッシュ接地の構成と計算式

(面積あたりの接地抵抗)

大地抵抗率 (Ωm)	5m	10m	15m	20m	30m
×	×	×	×	×	×
100	6 Ω	3.7 Ω	2.6 Ω	2.0 Ω	1.4 Ω
300	18 Ω	11 Ω	7.8 Ω	6.1 Ω	4.2 Ω
600	36 Ω	22 Ω	15.6 Ω	12.2 Ω	8.4 Ω
900	60 Ω	37 Ω	26 Ω	20 Ω	14 Ω

表8 メッシュ接地の計算例

6. メッシュ工法

図6に電極構成と計算式、表8に計算例を示す。深さ0.75mで $\rho=300 \Omega m$ では15m四方で7.8 Ω となり、A種接地工事に適用できる。特別高圧変電所などで地絡電流が大となる系統ではより低い接地抵抗が要求される。この場合より大きな面積が必要となる。

メッシュ接地は低抗値の確保のほかに各接地極の等電位化や歩幅電圧の低減および接地リード線の短縮化が図れるため、雷サージが流れた場合の電位上昇を抑制できるメリットがある。

7. ボーリング工法

電極構成と計算式は図1の棒状工法と同一である。接地極の直径66mmでの計算例を表9に示す。 $\rho=300 \Omega m$ の場合、長さ50mでは8.0 Ω となりA種接地工事に適用できる。 ρ がより大きい土壌では数本並列で使用するようになる。

8. 構造体利用接地⁽³⁾

図7に構造体利用接地の構成と計算式および大地抵抗率 ρ と利用可能構造体の地下表面積 A

大地抵抗率 ρ (Ωm)	接地極長さ (m)				
	L=10	L=15	L=20	L=30	L=50
100	10	7	6	4	3
300	30	21	17	12	8
600	59	42	33	23	15
900	88	63	49	35	23

表9 ボーリング接地の計算例

の関係を示す。電技18条記載の目標接地抵抗2 Ω を確保する場合、 $\rho=300 \Omega m$ では構造体地下部分の延べ表面積 A は35,600 m^2 が必要となる。

6

接地工法と経済性

接地工事費用は材料と工事費に大別される。D種接地工事では標準棒状接地が材料、工事費とも、安価であるので広く採用されている。A種接地工事の場合、土質によっては工法が限定されるため、接地工事の敷地面積などを考慮し、垂直工法か水平工法かを選択する必要がある。垂直工法は狭い敷地面積でも工事は可能であるが、掘削のための特殊機械や水が必要となるため、工事費が比較的に高価となる。

7

接地線長さと抵抗値の関係⁽²⁾

図8に工法別の電極長と抵抗値との関係を示す。

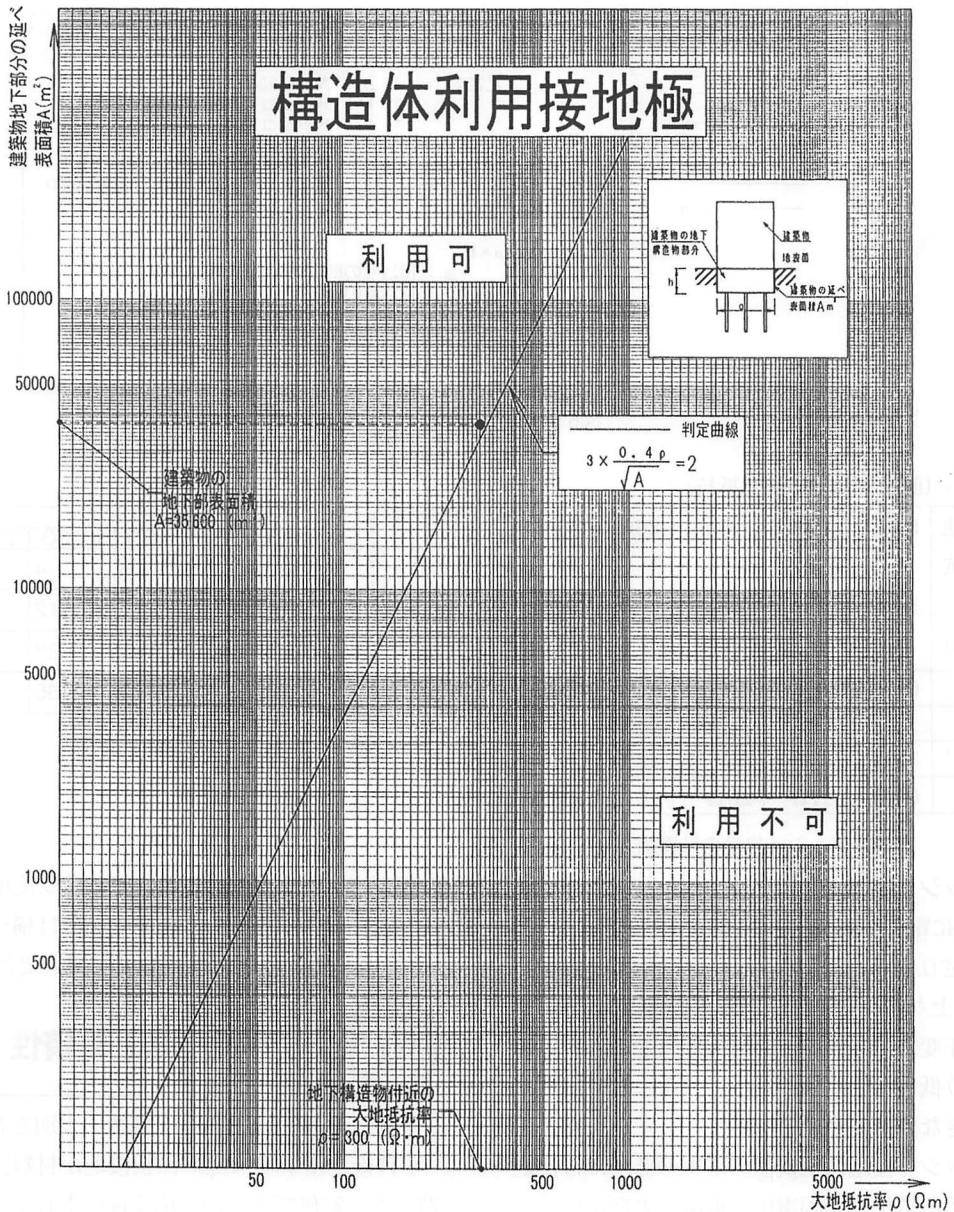


図7 構造体利用接地極の構成と計算例

図より、電極長が40m～50m程度までは長さの効果が顕著である。これより長くなると地中に流出する電流経路の断面積が大となり、土壌と電極の接触部の電流密度が小さくなるため、接地抵抗も収束され長さの効果が軽減される。

8 接地線サイズの選定

調査によると接地線のサイズは各種の規程により異なっている。表10に規程のサイズと推

奨サイズを示す。

9 地質による大地抵抗率

表11に文献に記載された数値を示す。しかし同じ地質でもバラツキが大きいため、接地設計には適用できない。従って、合理的な接地設計のためには現地で正確な大地抵抗率の測定が必要となる。

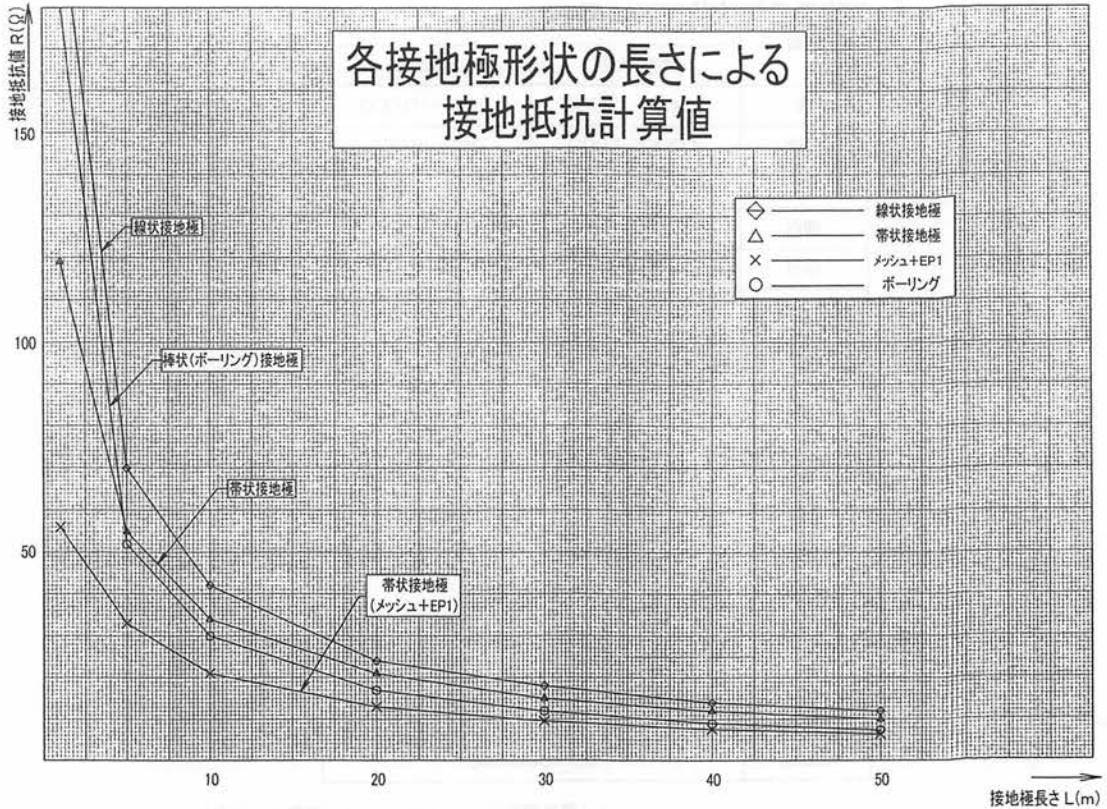


図8 接地極長さと接地抵抗値

接地種別	電気設備基準	内線規程	発変電規程	JEITA	推奨
A種	5.5mm ² 以上	5.5mm ² 以上	14mm ² 以上	22mm ² 以上	5.5~38mm ² 以上
B種	故障の際に流れる電流を安全に通じるもの	8mm ² 以上	14mm ² 以上	—	8~60mm ² 以上
C種	2mm ² 以上	2mm ² 以上~100mm ² (遮断器の定格電流による)	3.5mm ² 以上	22mm ² 以上	3.5~22mm ² 以上
D種	2mm ² 以上			8mm ² 以上	

表10 接地線のサイズ

10

おわりに

①電気設備の接地設計に要求される接地工事の種類とその経緯を調査した。これらの規程は感電防止を目的に107年前から施行されており、近年では国際化の流れから構造体利用接地も規程に取り入れられている。

②接地極の工法と計算式は古くから多くの研究者から提案され、運用されている。本稿ではこれらを紹介し、計算例を示した。適用にあたっては参考にさせていただければ幸いである。

③山岳地帯などで大地抵抗率が大きい場合、A種接地工事を施工することは容易ではない。この場合の工法としてはボーリング工法と帯状電極+接地抵抗低減剤 (EP-1など) が有効である。

地質	大地抵抗率 (Ωm)	
	乾燥状態	湿潤状態
礫	1,000~15,000	200~10,000
砂礫	1,000~7,000	200~5,000
砂	300~7,000	200~5,000
礫岩	300~1,800	100~500
砂岩	200~2,500	100~500
ローム	500~5,000	100~1,000
凝灰岩	100~1,000	
シルト		100以下
粘土		100以下
泥盤岩		100以下~
頁岩		約100以下
花崗岩	1,000~10,000	
片麻岩	200~10,000	
安山岩	200~10,000	
玄武岩	20,000	
溶岩	1,000~20,000	
石灰岩	60~500,000	

*「電気探査法」(1965):志村肇書より引用

表11 地質による大地抵抗率

④要求される接地抵抗値を安価に取得するためには大地抵抗率の正確な測定、解析と最適工法の選定およびその組合せが重要となる。

詳細は弊社などの専門会社に相談されたい。
 <参考文献>

(1) 電気設備の技術規準の解説 平成28年9月省令、
 解釈改正

(2) 図解 接地技術入門 (オーム社) 川瀬, 高橋著

(3) 病院電気設備の安全基準 JIST1022: 2006

(4) 井上, 上村, 志賀「高大地抵抗地帯における経済的な接地工法の検討」 2016年 電気設備学会全国大会 B-17

(執筆者:地質環境テック株式会社)

月刊「電設資材」2018年4月号抜刷

電気接地の設計・施工と迷走電流測定の専門会社
OTOWAグループ 地質環境テック株式会社
 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町3-9-4
 日幸小津ビル4F
 電話 (03) 6661-2007