

接地極近傍に埋設された外部導体の電界に関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/16519

氏名	崇 傑 (CHONG JIE)
生年月日	
本籍	中国
学位の種類	博士 (工学)
学位記番号	博甲第 524 号
学位授与の日付	2002 年 9 月 30 日
学位授与の要件	課程博士 (学位規則第 4 条第 1 項)
学位授与の題目	接地極近傍に埋設された外部導体の電界に関する研究
論文審査委員 (主査)	高嶋 武 (工学部・教授)
論文審査委員 (副査)	山田 外史 (自然計測応用研究センター・教授) 岩原 正吉 (工学部・教授) 藤田 政之 (工学部・教授) 久米田 稔 (工学部・教授)

学位論文要旨

The paper presents, first, touch voltage to iron fence around grounding electrode and its reduction. When fault current flows into the grounding electrode, a person touching the fence is subjected to the touch voltage. If the touch voltage level is hazardous, an additional construction work is needed for reduction of the touch voltage. For this purpose metallic rods may be struck into the earth at the fence corner and electrically connected to the fence. Simulation of the touch voltages is executed by the current sources superposition method and the method of images, for homogeneous earth and two-layer earth. Relations between buried lengths of driven rods and touch voltages are described for various dimensions of grounding electrode, earth resistivity ratios and spacings between the grounding electrode and the fence. It is pointed out that, when the upper layer resistivity is greater than the lower layer resistivity, in some cases the maximum touch voltage arises at other positions than the fence corner.

The paper presents, second, transfer voltages between two grounding electrodes. There are some cases where a small-sized grounding electrode for communication or computer, is adjacent to a large-sized grounding electrode for power. In the cases, when fault current flows into the large-sized electrode, the small-sized electrode is affected with the transfer voltage V_s . For the design of the two adjacent grounding electrodes, V_s has to be well known. V_s is computed by the method of images and the current source superposition method.

1. まえがき

大型接地極の周囲には、一般大衆の立ち入りを禁止するために、鉄柵が設置されることが多い。接地極に電流が流入すると、接地極はある電位となり、鉄柵にも移行電圧が発生し、鉄柵と鉄柵から 1 m 離れた地点との間には、接触電圧が発生する。したがって、接地設計に当たっては、接触電圧を推定し、その低減について検討する必要がある。

このほかに、比較的大型の電力用接地極 (以下、一次極と呼ぶ) と、比較的小型の通信用・制御用・計算機用等の接地極 (以下、二次極と呼ぶ) が近接して設置される場合があります。二次極はある電位となるので、それを推定し、その低減について検討する必要がある。

2. 計算方法

図 1 にメッシュ電極と鉄柵の関係について、全体の 4 分の 1 の概念図 (平面図) を示す。g は鉄柵のコーナーであり、e と e' は鉄柵の中央である。鉄柵は接地極との間隔 S_{MF} で接地極を囲んで設置されているとする。図には鉄柵脚部のみを示し、鉄柵の地上部分は省略してある。

$$\begin{bmatrix} P_{1,1} & \cdots & P_{1,n} & P_{1,n+1} & \cdots & P_{1,n+m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{n,1} & \cdots & P_{n,n} & P_{n,n+1} & \cdots & P_{n,n+m} \\ P_{n+1,1} & \cdots & P_{n+1,n} & P_{n+1,n+1} & \cdots & P_{n+1,n+m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{n+m,1} & \cdots & P_{n+m,n} & P_{n+m,n+1} & \cdots & P_{n+m,n+m} \end{bmatrix}$$

$$\times \begin{bmatrix} J_1 \\ \cdots \\ J_n \\ J_{n+1} \\ \cdots \\ J_{n+m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ \cdots \\ V_n \\ V_{n+1} \\ \cdots \\ V_{n+m} \end{bmatrix} \quad (1)$$

計算に当たっては、接地極を n 分割する。鉄柵脚部は m 本とし、各脚部は短いので分割しないこととする。いま、それぞれの導体中心に直線状電流源 J_i を設定すると、次の連立方程式が成立する (電流源重畳法)。

上式において、 P_{ij} は電位係数である。電位係数の計算に平均電位⁽¹⁾を用いると、電極分割数 n が少なくてもよい結果が得られる。大地が二層の場合には影象法⁽²⁾を用いるが、 P_{ij} は影象の影響も考慮した電位係数である。 $V_1 = \dots = V_n = V$ は接地極の電位であり、任意に決定できる。 $V_{n+1} = \dots = V_{n+m} = V_F$ は鉄柵電位であり、任意には決定できない。ところで、接地極から流出して、大地を通り、複数個の鉄柵脚部へ流入した電流は、他の複数個の鉄柵脚部から大地へ流出するので、次式が成立する。

$$J_{n+1} + J_{n+2} + \dots + J_{n+m} = 0 \quad (2)$$

計算手順を述べる。 V を決定した上で V_F を仮定して(1)式を解けば、 J_i が求まる。求まった J_i について、(2)式成立の可否を判定する。もし、(2)式が成立していなければ、

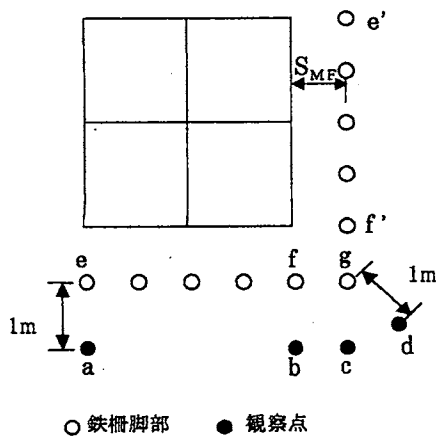


図1 メッシュ電極と鉄柵脚部
Fig.1. Mesh electrode and fence foot.

新たな V_F を仮定して、同じ操作を繰り返す。(2)式を満足する J_i が求まれば、そのときの V_F が求める鉄柵電位であり、この J_i によって各地点の電位も計算できる。

以下においては、記述を簡潔にするため、 $V=1.0$ (Volt)一定として、 V_F および接触電圧を表す。また、文章および表中の Volt は省略する。さらに、以下では全体の4分の1 (1つのコーナー部分) についてだけ説明するが、接触電圧等はここで提案する工事が全体に(4つのコーナー全部)に施工された場合の数値を示す。なお、ここで対象とする接触電圧は鉄柵外部から鉄柵への接触電圧とする。

3. 接地極を囲む鉄柵への接触電圧とその低減⁽¹⁾⁽²⁾

(1) 鉄柵への最大接触電圧 V_{TM} は、鉄柵コーナーのd点に生じる。二層大地 $\rho_1 > \rho_2$ の場合、(a)、(d)、(x)で V_{TM} が発生する。鉄柵コーナーにロッドを打設すると、 V_{TM} は低減される。

(2) 接地電極と鉄柵の間隔 S_{MF} を大きくすると、最大接触電圧 V_{TM} は減少する。しかし、二層大地 $\rho_1 \ll \rho_2$ の場合で、ロッドを打設しない場合には、 S_{MF} を大きくしても V_{TM} はほとんど減少しない。

(3) ロッド打設時には、均質大地の場合に V_{TM} は最も大きく、 $\rho_1 > \rho_2$ の場合に最も小さく、 $\rho_1 < \rho_2$ の場合にそれらの中間になる。

(4) 接地極が複合極の場合⁽²⁾ メッシュのみで所望の接地抵抗が得られないときには、メッシュのコーナーに深井戸(ボーリング)を付加した複合極が採用される。ロッド打設なしのときには、複合接地極の最大接触電圧 V_{TM}

はメッシュのみの場合の V_{TM} より小さい。この理由も距離に対する電位降下率の違いによるものと考えられる。ロッド打設による V_{TM} の低減効果がメッシュのみの場合より減ずるのは、打設ロッド近傍に深井戸極が存在するため、ロッドからの流出電流が深井戸極により抑制されるためであると考えられる。

4. 近接する二つの接地極の間の移行電圧⁽³⁾

図2に示すように、比較的大型の電力用接地極(以下、一次極と呼ぶ)と、比較的小型の通信用・制御用・計算機用等の接地極(以下、二次極と呼ぶ)が近接して設置される場合がある。二次極が存在しないと仮定すれば、一次極の注入点に流入した故障電流は一次極導体を通して、一次極全体から流出して大地中を遠方へ流れ去る。しかしながら、図

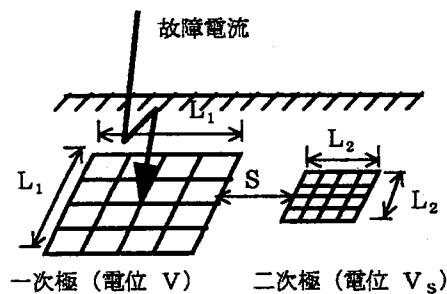


図2 近接する二つの接地極
Fig.2. Two adjacent grounding electrodes.

2のように、一次極の近傍に二次極が存在する場合には、一次極からの流出電流の大部分は大地中を遠方へ流れ去るが、一次極からの流出電流の一部分(二次極に近い部分から流出した電流)は大地を伝導して、二次極の一次極に近い部分に流入し、二次極導体を通して、二次極の他の部分から流出して遠方へ流れ去る。このとき、電位零の無限遠方に対して、二次極はある電位(transfer voltage; 移行電圧)をもつこととなる。

二次極の設計のためには、この移行電圧 V_s の大きさを知っておく必要がある。一般的には、二つの接地極の間隔 S を大きくすれば V_s は小さくなるが、 S 以外に、二次極の型や大地状態も V_s に関係する。本文では、 V_s とこれらの関係をシミュレーションにより求めている。

(1) 一次極がメッシュ極の場合には、二次極の型と L_2 および S が同じならば、移行電圧 V_s は、 $\rho_1 < \rho_2$ のときに最も大きく、 $\rho_1 > \rho_2$ のときに最も小さく、均質大地のときにはそれらの中間である。その理由は、 $\rho_1 < \rho_2$ のときには、一次極からの流出電流が主に水平方向に流れ、水平方向の勢力範囲が均質大地のときより大きいためであり、 $\rho_1 > \rho_2$ のときには、一次極からの流出電流が主に垂直方向に流れ、水平方向の勢力範囲が均質大地のときより小さいためである。

(2) 一次極がメッシュ極から複合極に変わっても、大地条件と V_s の大小関係は(1)の場合と同じである。

(3) 一次極が複合極の場合の V_s は、一次極がメッシュ極の場合の V_s より大きい。複合極の勢力範囲が、深井戸電極の分だけメッシュ極の勢力範囲より大きいためである。

5. あとがき

先には、接地極を囲んで設置される鉄柵への接触電圧とその低減について検討した。この場合の接触電圧は鉄柵の

コーナーで最大となるが、これを低減するには、コーナー近傍の電界強度を減少させればよく、近傍の鉄柵に短い金属棒を追加打設することにより、解決できた。すなわち、局所的な電界強度という、いわば微視量を減少させることは容易であった。これに対し、近接する二つの接地極間の移行電圧で問題としている二次極への移行電圧は、二次極全体で決まる物理量であり、対比的に言えば巨視量である。巨視量を大きく減少させるには、用地全体の面積を増加する（このときには、Sを増加できる）等の巨視的観点からの解決が必要と考えられる。

結局、用地が決定している場合に、 V_s を小さくするには、二次極の所要接地抵抗値を考慮しながら、本文の資料を参

考に、Sと二次極形状について試行錯誤法による設計を行う以外に方法はないようである。紙数の関係で、ここでは十分な資料を提供できなかったが、詳細は博士論文に譲ることにしたい。

文 献

- (1) 高嶋 武・崇 傑：電学論誌B、119-B巻、No. 8/9号、957-965頁（平11）
- (2) 崇 傑・高嶋 武：電学論誌B、119-B巻、No. 10号、1089-1095頁（平11）
- (3) 高嶋 武・崇 傑：電学論誌B、121-B巻、No. 1号、31-38頁（平13）

学位論文審査結果の要旨

提出された学位論文及び参考資料について、先ず各審査委員が個別に検討し、平成14年7月30日開催の口頭発表会での内容及び質疑応答の結果を踏まえて、同日引き続き開催された審査委員会で審議し、以下のとおり判定した。

本論文の内容及び成果は、次のように要約される。

- 1) メッシュ接地極の周囲に設置される鉄柵への接触電圧に関して検討し、①接触電圧は鉄柵のコーナーで最大となること、②鉄柵コーナーにロッド（垂直導体棒）を打設することにより最大接触電圧を低減できること、③低減できる程度は大地条件に左右されることを、接地極の大きさ及び大地条件をパラメータにとり、明らかにしている。
- 2) 接地極がメッシュ極に深井戸極を付加した複合極の場合について、前項と同じ検討を行い、①接触電圧は、前項同様、鉄柵コーナーで最大となること、②しかし、ロッド打設なしのときの接触電圧は前項のものより小さくなること、③打設ロッドに、接触電圧を最小とする最適長が存在すること等、前項の場合との差異を中心にした知見を得ている。
- 3) 電力用の大形接地極に故障電流が流入した場合に、大形接地極の近傍にある通信用などの小形接地極に発生する移行電圧について、①大形極と小形極の規模、②両者の設置間隔、③大地条件をパラメータにとって検討し、移行電圧を具体的に明らかにしている。

以上の研究成果は、従来は研究対象とされなかった事項に関するものであり、接地技術者には必須なものであると高く評価される。したがって、本論文は博士論文に十分に値するものと判定する。