

接地電極の垂直断層近傍における特性に関する研究

日大生産工(院) ○片山敏幸
日大生産工 蒔田鐵夫 移川欣男

1. まえがき

様々な電気設備を施設する場合、接地を施すことが電気設備技術基準の解釈により義務付けられている。この接地にはそれぞれの目的に応じた規定の接地抵抗値があり、その値を得ることにより安全を確保している。しかし、接地を施す大地の条件は多様であり、規定の接地抵抗値を得ることが困難である場所が存在する。

そのため、接地抵抗値を減少させるだけではなく、歩幅接触電圧を緩和させることにより、人体の四肢間に心室細動電流が流れることを防止する方法がある。その一つに主となる接地電極の周囲に環状地線を併用する方法がある。

また、接地が施される大地の構成は、一般に水平多層と仮定して接地設計が行われる。しかし、建築物の基礎および地中構造物を造るための掘削工事、あるいは河口付近に用地を造成するための埋め立て工事など、種々の工事が行われるため、大地は垂直多層構成となる。また、崖や沖合では自然発生的に垂直多層構成である。

本研究では、垂直断層を有する大地の断層近傍に接地を施したときの接地特性に及ぼす大地構成の関係と周囲の電位分布の様相について検討したので報告する。

2. 電気映像法による計算原理と電位計算式

Fig.1 に電気映像法の原理を示す。まず、垂直断層が存在するために、 ρ_2 側に実像電極(Real)と対称な位置に反射係数 k を乗じた映像電極(Image1)を考える。次に G.L. を考えるため、空气中に実像電極(Real)と映像電極(Image1)の映像電極(Image2, Image3)を考える。この様に仮定し、各電極による電位を V_0, V_1, V_2, V_3 とすれば、地中の任意の点 P の合計電位 V_t は、

$$V_t = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 \dots (1)$$

となる。

任意の点 P の電位 V は回転楕円体による電位計算式により(2)式で表される。ここで ρ は大地抵抗率、 ℓ は電極の一要素の長さ、 I は流出電流、 x, y, z は直角座標系における任意の点の座標を示す。また、任意の点 P を P' とすることにより、電極自身の電位を求めることができる。

$$V = \frac{\rho I}{4\pi\ell} \ln \frac{x + \frac{\ell}{2} + \sqrt{y^2 + z^2 + \left(x + \frac{\ell}{2}\right)^2}}{x - \frac{\ell}{2} + \sqrt{y^2 + z^2 + \left(x - \frac{\ell}{2}\right)^2}} \dots (2)$$

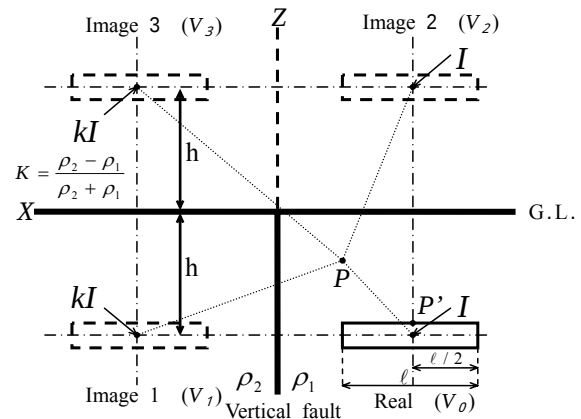


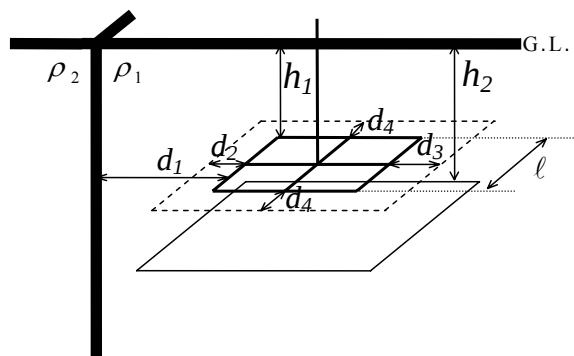
Fig.1 The concept of the image method.

3. 数値計算条件

垂直断層の近傍に埋設された環状地線と正方4メッシュ電極の状態を Fig.2 に示す。

境界面からの距離 $d_1 = 10\text{m}$ 、メッシュ電極一辺の長さ $\ell = 30\text{m}$ 、電極半径 $a = 0.0065\text{m}$ 、メッシュ電極の埋設深さ $h_1 = 0.75\text{m}$ 、大地抵抗率 $\rho_1 = 100 \Omega \cdot \text{m}$ 一定とした。大地抵抗率 ρ_2 は $\rho_1 < \rho_2$ の時を $1 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$ 、 $\rho_1 > \rho_2$ の時を $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$ とした。また、垂直断層に近い側を 側、遠い側を 側とする。

メッシュ電極と環状地線との間隔(以降、間隔) d_2, d_3 および d_4 並びに環状地線の埋設深さ h_2 をパラメータとし、電位傾度の緩和効果について検討した。



Vertical fault
Fig.2 The model buried of mesh and counterpoise.

4. 電位傾度の検討

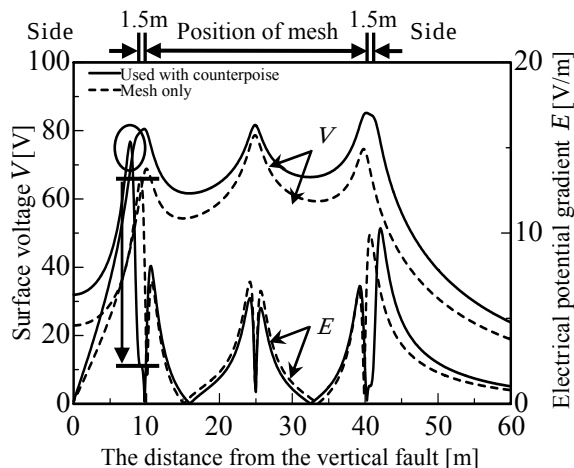
4. 1 間隔の検討

接地電極に環状地線を併用した時の電位分布ならびに電位傾度を Fig.3、Fig.4 に示す。

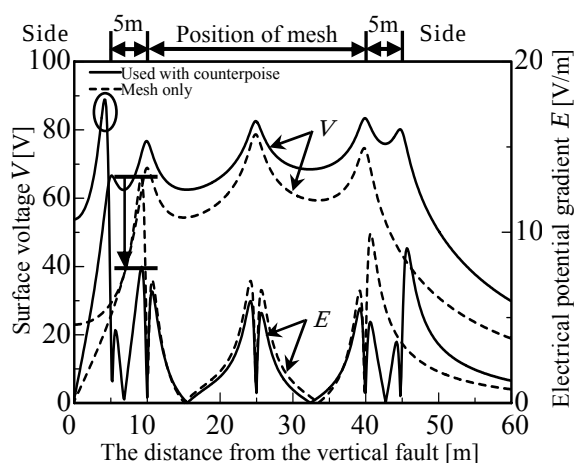
Fig.3 より $\rho_1 > \rho_2$ における電位傾度は、(a)で示す間隔 1.5mの場合において、メッシュ電極のみの場合に急峻であった位置の値は大幅に減少していることがわかるが、環状地線を併用したことにより、新たに第2の極値(図中の○内)が生じていることがわかる。また、(b)で示す間隔 5mの場合では急峻であった位置は1.5m時よりも急峻となり、さらに第2の極値も急峻となっている。

また、Fig.4 より $\rho_1 < \rho_2$ においても同様に、電位傾度は間隔を 1.5mとした時、急峻である位置が大きく緩和されているが、第2の極値が新たに生じていることがわかる。

これらより、環状地線をメッシュ電極と同じ深さに併用した場合、電位傾度は間隔を変化させることにより、メッシュ電極のみの時に急峻となっている位置は緩和できるが、新たに第2の極値が生じ、それは緩和できないことがわかる。よって、次に第2の極値を緩和させるために環状地線の埋設深さを変化させて検討を行う。



(a) In case of space 1.5m with depth 0.75m.



(b) In case of space 5m with depth 0.75m.

Fig.3 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise ($\rho_1 > \rho_2$).

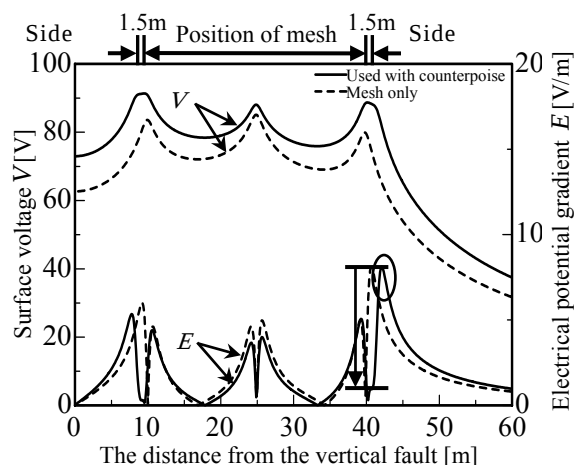


Fig.4 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise ($\rho_1 < \rho_2$).

(Where space 1.5m with depth 0.75m)

4. 2 埋設深さの検討

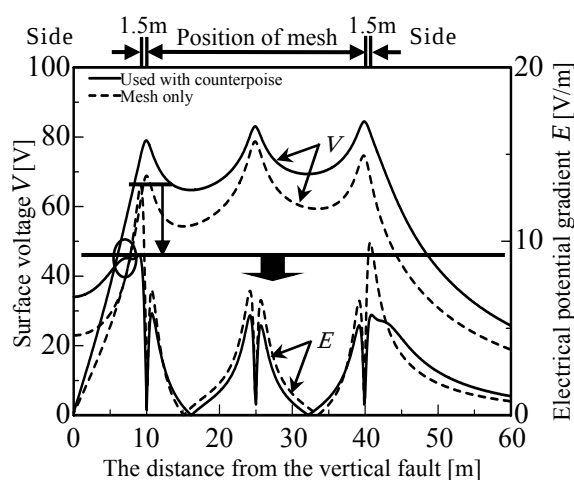
4.1 節において電位傾度を最も緩和することのできた間隔 1.5mの場合について、埋設深さ h_2 を変化させた時の図を Fig.5、Fig.6 に例示する。

Fig.5(a)に示す $\rho_1 > \rho_2$ の場合、Fig.3(a)において環状地線を併用することにより新たに生じた電位傾度の第2の極値(図中の○内)すなわち電位傾度の最大値は、埋設深さ h_2 を 2.75mとすると、大きく緩和されていることがわかる。このとき、メッシュ電極のみの時に急峻であった位置の電位傾度の値は埋設深さ h_2 が 0.75mの時よりも上昇しているが、メッシュ電極のみの時の値よりも緩和されており、かつ最も急峻となった第2の極値を緩和しているため、効果的に緩和されたといえる。また、接地電極周囲の電位傾度は緩和された最大値以下となることがわかる。

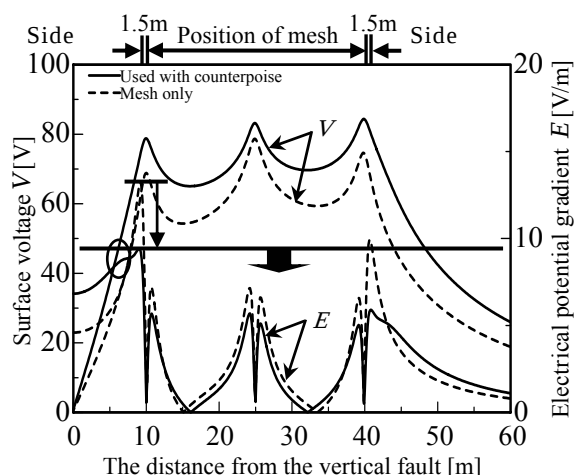
しかし、Fig.5(b)に示すように埋設深さ h_2 を3mとすると、電位傾度の最大値は2.75mの時よりも若干急峻となるため、環状地線の併用深さには最適な深さが存在するといえる。

Fig.6に示す $\rho_1 < \rho_2$ の場合においても同様に、Fig.4において環状地線を併用することにより生じた電位傾度の第2の極値（最大値）は、埋設深さ h_2 を2.5mとすることにより大きく緩和され、接地電極周囲の電位傾度は緩和された最大値以下となることがわかる。

これらより、接地電極に環状地線を併用する場合、電位傾度の最大値を緩和することを目的として併用する方法が、最も効果的な併用方法であるといえる。



(a) In case of space 1.5m with depth 2.75m.



(b) In case of space 1.5m with depth 3m.

Fig.5 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise($\rho_1 > \rho_2$).

4.3 最適な間隔と埋設深さ

4.1 節及び 4.2 節のようにして検討を重ねた結果、環状地線を併用する最適な間隔と埋設深さは、 $\rho_1 > \rho_2$ の場合、 d_2 が2m、 d_3 が

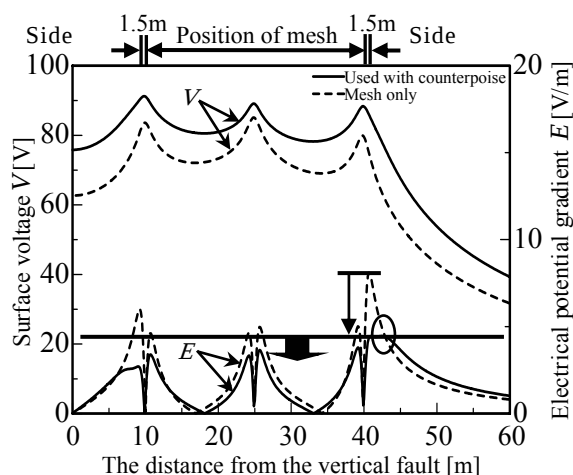


Fig.6 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise($\rho_1 < \rho_2$).
(Where space 1.5m with depth 2.5m)

5m、 h_2 が2.75mであり、 $\rho_1 < \rho_2$ の場合、 d_2 が5m、 d_3 が4m、 h_2 が2.5mであることがわかった。また、間隔 d_4 については急峻でない側と同じ5mとした。

これらより、最適な間隔と埋設深さは大地構成により影響を受け、特に間隔においては急峻な側は狭く、逆側は広がることがわかった。

以上のようにして得られた最適な間隔と埋設深さを用いて、次に現実規模の故障電流を想定した場合について検討を行った。

4.4 歩幅接触電圧の定義

現実規模の故障電流を想定するにあたり、歩幅接触電圧を算出し、基準とする。

歩幅接触電圧 E_{STEP} は、人の歩幅を1m、人体抵抗 R_K を1000 Ω 、片足と大地との接触抵抗 R_F は最悪な状態（皮膚表面が著しく濡れている状態）を想定して500 Ω 、人体電流許容値 I_K を0.116A（1秒間の場合）として(3)式より計算を行うと232V/mとなり、この値以下であれば安全とされている。

次節ではこの値を基準として検討を行う。

$$E_{STEP} = (R_K + 2R_F) \times I_K \quad \dots(3)$$

4.5 現実規模における検討

接地電極に故障電流が流入した時の電位分布並びに電位傾度をFig.7、Fig.8に例示する。

Fig.7、Fig.8より、Fig.5(a)およびFig.6と同様にメッシュ電極に環状地線を併用することにより地表面電位ならびに電位傾度は大きく減少していることがわかる。また4.2節と同様に、電位傾度の最大値を緩和することにより、それぞれ逆側の電位傾度は、その緩

和した電位傾度の最大値よりも低くなる。

以上より、故障電流規模の大電流が接地電極に流入した場合に対しても環状地線を併用する効果は大きいといえる。しかし、この例においては危険となる歩幅接触電圧 232V/m を超えていないため、特に環状地線を併用する必要はないといえる。

故障電流 I_g に対する電位傾度の最大値を Fig.9 に示す。ここで、本計算例の場合では、232V/m となる故障電流の値は、 $\rho_1 > \rho_2$ の場合メッシュ電極のみでは 1500A 程度であるが、環状地線を併用することにより 3000A 程度まで、 $\rho_1 < \rho_2$ の場合では、1700A 程度から 4200A 程度まで対応することができる。従って、環状地線を併用して、電位傾度を緩和することは重要である。

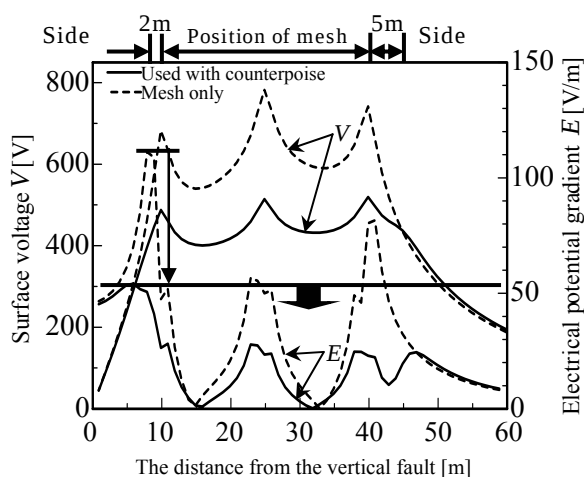


Fig.7 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise ($I_g=700A, \rho_1 > \rho_2$). (Where space 2m and 5m with depth 2.75m)

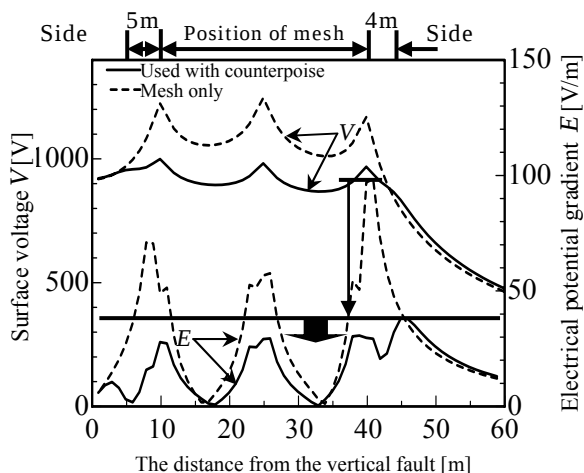


Fig.8 Abatement method of the electrical potential gradient by the counterpoise ($I_g=700A, \rho_1 < \rho_2$). (Where space 5m and 4m with depth 2.5m)

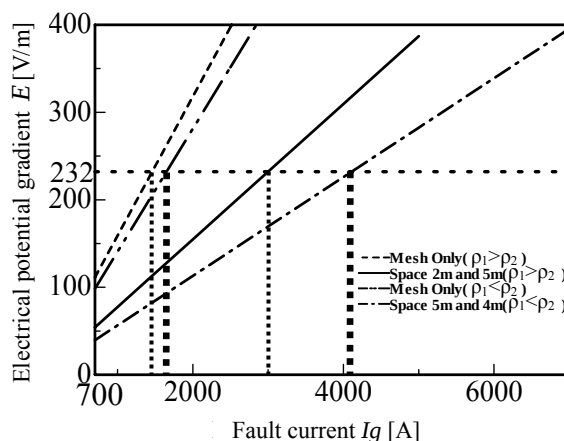


Fig.9 Maximum value of electrical potential gradient in the Fault current

5. あとがき

電位傾度を緩和するために、環状地線を併用した場合の検討を行った。結果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 電位傾度を緩和する間隔は、 $\rho_1 > \rho_2$ の場合は垂直断層側では狭くなり、垂直断層から遠い側では広くなる。また、 $\rho_1 < \rho_2$ の場合では逆にその間隔は垂直断層側では広くなり、垂直断層から遠い側では狭くなる。
- (2) 電位傾度の最大値を緩和することを目的として併用すれば、接地電極周囲における電位傾度は緩和された最大値以下となる。

本研究により、電位傾度を緩和するための、環状地線の最適な併用方法を明らかにした。

しかし、電位傾度が最も急峻となる垂直断層側あるいは垂直断層から遠い側の電位傾度を緩和するだけで安全を確保することができる場合、地線を環状に併用せずともよいと考えられる。そのため、垂直断層側あるいは垂直断層から遠い側の一方に複数の地線を併用し、電位傾度を緩和する方法が考えられる。

また、主電極の形状が変化した場合、電位傾度を緩和するために併用する地線は、垂直断層近傍において変化すると考えられる。これらにおいては今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 鈴木・蔭田・移川：垂直断層を有する大地中に埋設された接地電極の特性に関する研究
- 2) 片山・酒井：垂直断層を有する多層大地に敷設された電極の接地特性に関する研究
- 3) 川瀬 太郎著：地絡保護と接地技術，オーム社(1977)