垂直断層近傍に敷設された埋設地線の接地特性に関する研究

日大生産工(院) 鈴木 秀也 熊谷 悟 近藤 弾 日大生産工 蒔田 鐵夫 移川 欣男

1 まえがき

一般に宅地や産業振興用地,空港などの建造物に対しては大規模な掘削,埋立て,切り土,そして盛土などの造成作業が行なわれる。さらに干拓のように沖合や河口に堤防を築き,その内部を排水して耕地や居住地,工業地に造成するものもあり,大地構造が様々に異なることとなる。また,土木建築の分野では建築物の基礎の建設,地中構造物の建設のために根切り工事などが広く行われている。これは用地の有効利用,建築物の巨大化など,建設工事を地下に向けた立体的に施工する傾向からである。

このように土木建築工事により,構造が異なった 大地は水平あるいは垂直多層大地と考える必要があり,この敷地内やその近傍で目的に応じた接地をと ることがある。さらには,崖や河岸などの近傍では 自然状態で垂直多層大地と考えることができる。

現状では,接地電極が水平多層大地に埋設された場合の接地特性^{2/3} は,すでに把握されているが,垂直多層構成の大地に埋設された場合の解析方法はG.F.Tagg氏の著書中¹⁾ にその概念が記述されているのみで他には報告されていないのが実状である。

著者らは従前より,棒状電極が垂直多層大地に埋設された場合の接地特性に関する研究 ⁶⁷⁷ を行なってきた。棒状電極は接地工事の簡便さと容易に低抵抗値を得ることができるため,最も多く採用されているが,その反面,地中の浅い所に岩盤が存在するなど様々な事情により棒状電極の使用が困難な場合に裸電線を大地中の浅い所で水平に敷設する埋設地線が使用される。本論文では,垂直断層近傍に敷設された埋設地線の接地特性及び周囲の電位傾度に関する検討を行なったので報告する。

2 電位計算式と水槽模型実験

2.1 基本式の概要

基本となる計算式は,従来から報告している簡易 計算法4である。まず(1)式は埋設地線(線状電極) を適当な長さに分割した長さの電流Iによる任意の点(x,y,z)の電位を表している。ここで電極自身の電位はx=y=0,z=a(aは電極の半径)としたものである。この時,分割した各電極要素の表面電位が等電位となるように電流分布を調節する計算手法として電流源重畳法を採用している。

さらに垂直多層大地に適応した電位計算式とする ために電気影像法 5 を用いて,境界面である垂直断 層及び大地の地表面を考慮した計算式としている。

$$V = \frac{\rho I}{4\pi \ell} \ln \frac{x + \frac{\ell}{2} + \sqrt{y^2 + z^2 + \left(x + \frac{\ell}{2}\right)^2}}{x - \frac{\ell}{2} + \sqrt{y^2 + z^2 + \left(x - \frac{\ell}{2}\right)^2}} \cdot \cdot \cdot (1)$$

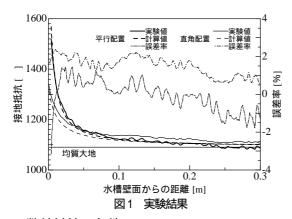
2.2 実験モデルと結果

導出した電位計算式を実験により検証した。

実験装置は 1.21×0.75×0.60m の水槽を使用し, 0.54m まで水を満たした。接地電極(以下, E極)及び電流補助極(以下, C極)には 1 の真鍮丸棒を使用し,電極の長さを 0.03m とした。そして E極の水深を 0.003m, C極は水槽の中央付近に水深 0mで設置し,電位補助極(以下, P極)は電位の基準点であるため, E, C各電極から最も遠い地点となるように設置した。ここで有限な規模の水槽をなるべく無限空間にみなす必要があることと, E, C各電極が水槽内部で発生する電位分布より相互の電位干渉が起こらないようにする必要性があるため,これらを考慮して電源電圧は 15V 一定とした。

埋設地線1極を境界面に対して平行,直角の2種類の配置方法(図2参照)における接地抵抗を検討した。その実験結果を図1に例示する。

両配置において計算値と実験値の特性はほぼ同様な傾向となった。その誤差は最大で±3%以内となり,計算値の妥当性が得られた。以上より,垂直多層大地における電位計算式は信頼性があり,現実規模においても検討できると判断した。



3 数値計算の条件

埋設地線は長さ L=10m, 半径 a=0.0065m の電極を想定して,電極電圧を 100V で正規化した。電極が埋設される大地の電気抵抗率 $_1$ は 100 $_2$ を変数として取り扱った。さらに埋設深さ h 及び垂直断層である境界面からの距離 d の初期条件をそれぞれ 0.75m 及び 5m とした。

図 2 は埋設地線の配置モデルである。埋設地線 3 極の各電極間の距離 5m 一定として,(a)は境界面に対して平行,(b)は垂直に並列接続した場合を示す。また 図 3 は電流流出状況を計算するために電極を 1m 間隔に分割した時の番号(以下,要素番号)及び電位の計算方向と範囲である。

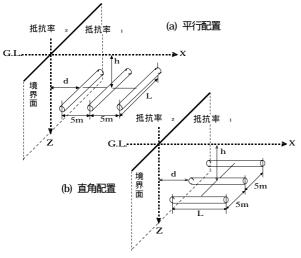


図2 配置モデル

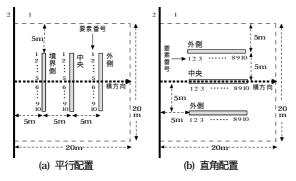


図 3 各電極の要素番号及び電位の計算方向と範囲

4 数値計算による検討結果

4.1 流出電流

図 4 は各電極の要素番号に対する電流密度を表わし,図上は平行,下は直角配置の場合である。

まず図上は電極が境界面に対して平行に埋設されているため、電極の中心(5 と 6 の中心)に対して左右対称となり末端にいくほど電流が多くなる。また 2 1 では境界側の電極から多くの電流が流出し、2 1 では境界側の電極からは電流が流出しにくく、むしろ外側からの方が多くなる。

図下は電極が境界面に対して直角方向に埋設されているため、電極の中心に対して左右対称な電流とはなっていなく、 2 1 では境界面に近い方(要素番号1)が電流は多くなり、 2 1 では境界面から遠い方(要素番号10)が電流は多くなる。つまり平行,直角配置とでは電極の受ける影響は異なることがわかる。

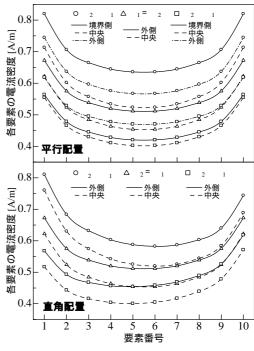


図4 各電極要素の電流密度

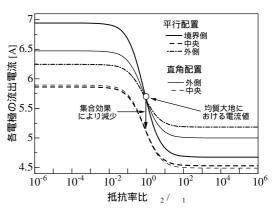


図5 各電極の流出電流の変化

次に抵抗率比 2/ 1に対する各電極の流出電流の変化を図5に例示する。まず 2/ 1<1では,流出電流が多く, 2/ 1>1になるほど少なくなる。平行配置では特に境界側の電極が 2の大小により最も大きく変化し,境界面から遠い外側の電極の変化が小さくなる。これは図4上からも明らかである。ここで,両配置による中央の電極に着目すると,集合効果の影響により他の電極よりも電流は常に少なくなっている。従って, 2の大小による電流の変化とともに,集合効果の影響も従来通り受けることになる。

4.2 接地抵抗

次に同図上と下を比較すると、グラフの形状や値 などほぼ差異は見られない。これは電極と境界面と の相対的な位置関係は異なるものの,境界面からの 距離 d は同じで, さらに 10m×10m の敷設面積の 中で電極の長さ L=10m 及び各電極間の距離が 5m と, 共に同様なためと考える。この条件の中で電極 の長さ L だけを 20m にした結果が図 7 である。平 行と直角の配置方法で比較すると , 2/1の大小に よる R/Roが異なることがわかる。これは電極を長 くすることにより,平行配置の方が境界面からの影 響を受けやすくなるためである。また同図に併記し た d =L x 10 の結果から , 2/ 1の大小により R/Ro がほとんど変化しなく一定であることがわかる。こ れは著者らが以前に,境界面からの距離が電極の長 さの 10 倍も離れれば均質大地とみなした計算で良 いことを報告 677 したが , 埋設地線が 3 極の場合で も同様な結果を得ることができた。

以上のことから , 2/ 1<1 の場合ではもともと 均質大地より接地抵抗は低くなるが , 平行配置のように境界面と電極との領域がより大きくなるような 埋設方法をとれば接地抵抗はより低下する。逆に 2/ 1>1 の場合では直角配置のように境界面からの 距離を長くするような接地設計をすれば良い。

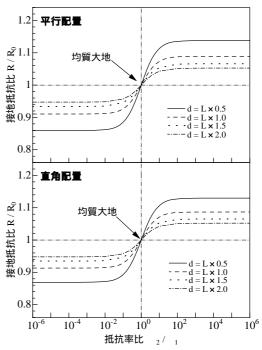


図6 接地抵抗比の変化

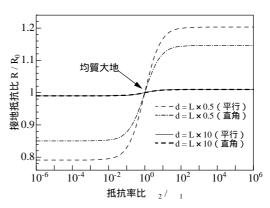


図7 接地抵抗比の変化(L=20m)

4.3 地表面電位及び電位傾度

境界面から横方向に地表面電位及び電位傾度を計算した結果を図8に例示する。図上は平行,図下は直角配置の場合である。まず両図とも 2 1の大地では電位が高く,2 1では低くなる。これは2 1の時は電極の接地抵抗が高くなるため地表面に及ぼす電位が高くなり,同様に2 1では抵抗が低くなるため,電位が低くなる。

電位傾度は境界面に近い箇所における変化が大きくなり、境界面から離れた場所では2の大小による影響が小さくなることがわかる。図上の平行配置で21の場合は均質大地を基準とすると、その最大値が35.8%増加(最大電位傾度)し、21では26.1%減少している。同様に直角配置で21の場合は29.9%増加し、21では22.7%減少する結果となった。これは、21では2側に電流が非常に流れやすくなるため電位が急に低下し、結

果として電位傾度が急峻となる。逆に 2 1では, 2側に電流が流れにくく電位の変化が小さいため, 電位傾度は緩和されるのである。

さらに平行配置に着目すると,境界面側の電位傾度が直角配置に比べ, 2の大小による変化が大きいことがわかる。特に 2 1の大地では直角配置より電位傾度が5.9%も高くなるため注意を要する。

この平行配置における急峻な電位傾度の対策として,境界側の電極だけ埋設深さを0.75mから1.15mに変更した結果を図9に例示する。併せて埋設深さを変化させていない均質大地の結果も併記した。境界側の電極だけ0.4m深く埋設することにより,最大電位傾度から均質大地における値まで緩和した。従って,21の大地で電極を平行に埋設する場合は境界側の電極だけ若干深く埋設すれば,急峻な電位傾度を緩和させることができる。

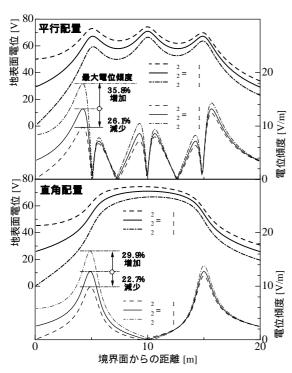


図8 地表面電位と電位傾度の変化

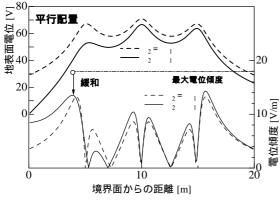


図9 地表面電位と電位傾度(平行配置)

5 あとがき

本研究では,垂直多層大地に適応する電位計算式を導出し,水槽模型実験により妥当性を確認したところ,実験値と計算値の傾向が同様となり,さらに誤差が3%以内となったことから,計算式が妥当であることを確認できた。

電位計算式による数値計算結果の内容を要約すると,以下のことがいえる。

(1)電流は 2の大小及び境界面との相対的な位置関係により異なるが,平行配置の場合は電極の表面全体が影響を受け,直角配置の場合は電極両端の電流の大きさが異なる。

(2)接地抵抗は , $_2/_1>1$ の大地では均質大地より高くなり , $_2/_1<1$ では低い抵抗となる。さらに R/R_0 は $_2/_1$ が 100 以上 ,あるいは 1/100 以下となってもそれ以上の変化はなくほぼ一定となる。

(3)埋設地線が3極の場合でも,境界面からの距離が電極の長さの10倍も離れれば,ほぼ均質大地とした計算でよい。

(4) 2/1>1の大地では,境界面から電極を遠ざけるような埋設方法をとる方がよく,2/1<1では,平行配置のように境界面と電極との領域がより大きくなるような接地設計が接地抵抗低減につながる。

(5) 境界面側の電位傾度について , 2 1の大地では緩和するが , 2 1 ではより急峻となる。その変化量は平行配置の方が直角配置より大きくなるが , 境界側の電極を若干深く埋設するだけで , 大きな緩和効果を得ることができる。

今後はメッシュ電極の接地特性及び電極周囲の電 位分布について検討していく。

参考文献

- 1) G.F.Tagg: "Earth Resistances",
 - The White Press Ltd. , pp172 ~175
- 2) 渡部・蒔田: 不均質大地中に埋設された地線の接地抵抗 と集合係数, 電気設備学会誌
- 3) 渡辺・蒔田ら:メッシュ接地電極に補助電極を併用した 時の周囲の電位分布と大地パラメータの関係,電気設備 学会誌
- 4) 前川・蒔田:任意に組み合わせた円柱状電極の接地抵抗 とその簡易計算式,電気設備学会誌
- 5) 鈴木・蒔田ら:垂直断層近傍に埋設された棒状電極の接地特性に関する研究,平成 15 年度日本大学生産工学部電気電子部会講演概要集
- 6) 鈴木・蒔田ら: 垂直断層近傍に埋設された棒状接地極の 特性, 平成16年電気学会全国大会講概要集
- 7) 鈴木・蒔田ら:垂直断層近傍に埋設された棒状電極の接地特性,平成16年電気設備学会全国大会講演概要集