

接地抵抗の測定結果に及ぼす埋設導体の影響に関する研究(2)

日大生産工(院)

近藤 弾

日大生産工

蒔田 鐵夫 移川 欣男

1. まえがき

各種の電気設備には、電気設備技術基準の解釈に示されている保安用の接地を設ける必要がある。近年、この接地電極に鉄筋コンクリート造の住宅基礎や鉄筋・鉄骨造ビルでは建築構造体の地下部分を代用する構造体接地が採用されている。このような構造体の接地抵抗を測定する方法には、電位降下法が広く用いられている。電位降下法では被測定電極(以後、E極)から適当な距離に電流補助電極(以後、C極)を打設して大地に電流を流し、E極の電位上昇を電位補助電極(以後、P極)を基準に測定する。

この際のC極とP極の最適な打設位置は大地中に被測定電極以外の金属体が無い場合は、容易に解析することができる¹⁾。

しかし、特に都市部での実際の測定では、被測定電極の近傍に他の接地電極、水道管やガス管等の埋設金属体並びに鉄筋コンクリート造の埋設構造体(以後、総称して埋設導体)が存在するのが常である。この状況下において電位降下法の原則に従って接地抵抗を測定しても、結果が正しいと判断することができない。従って、被測定電極以外の埋設導体が電位降下法の測定結果に及ぼす影響を検討する必要がある。

本研究では、E極とC極近傍に存在する埋設導体の位置と規模がC極とP極の最適な打設位置に与える影響、並びに測定結果に及ぼす影響を詳細に検討している。本報告では第一に埋設導体を考慮した接地抵抗計算の手順と水槽模型実験による計算手順の検証、第二に電位降下法の測定結果に及ぼす埋設導体の影響の一例を報告する。

2. 電位降下法と補助電極の打設位置

電位降下法とは、図1に示すようにE極の電位上昇と測定回路に流れる電流から接地抵抗を算出する間接測定法である。

測定回路には、E極の他に測定電流の帰路電極となるC極とE極の電位上昇を測定するための基準となるP極の二つの補助電極を必要とする。ここでC極の打設位置は、E極に及ぼすC極の電位上昇が影響しなくなる地点とすることになり、

理論的な位置は無窮遠点となる。またP極の打設位置は、測定回路に電流を流す前と流した後で電位が変動しない、つまりE極とC極の電位上昇の影響を受けない無窮遠点となる。このように補助電極には理論的な打設位置が存在するが、現実の測定現場ではC極の位置はE極から有限の距離に打設される。従って補助電極の打設位置が測定結果の精度に影響する。つまり電位降下法では補助電極の打設位置が適正であったかが重要となる。

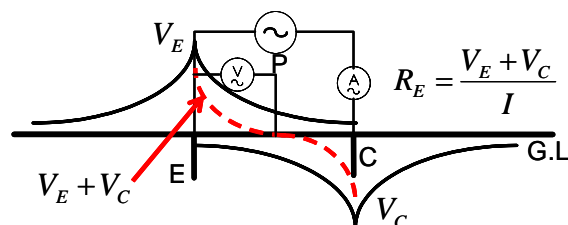


図1 電位降下法のご概念図

3. 電極配置と問題設定

電位降下法の補助電極の配置には、E-P-C配置(図1)とP-E-C配置がある。E-P-C配置はE-C極間にP極を設ける配置で、P極の理想打設位置である零電位点が得られるが、E-C極間とE-P極間の配線が平行配置となるので誘導障害を受ける。一方、P-E-C配置ではE-C極間の外にP極を設ける電極配置で、配線の誘導障害は除去できるが真の零電位点が無窮遠点となる欠点がある。

本研究では、図1に示したE-P-C配置を例に、C極は被測定電極の真の接地抵抗値の90%以上の値を得られる打設位置とし、第一にP極の位置、第二にE極とC極近傍に埋設導体が存在する場合の埋設導体の電位とP極の打設位置、並びに測定値に及ぼす影響を検討することとした。

4. 埋設導体を考慮した電位計算手順と水槽模型実験による検証

4.1 埋設導体を考慮した電位計算手順

埋設導体を考慮した電位計算の手順には、電源電圧がE極とC極の抵抗値に応じて分圧され、E極より流出した全ての電流がC極に戻るとした

A Study of Influence of the Conductor Already Laid without any Intention of the Effect on Measuring the Grounding Resistance

従来の方法を基本にしている¹⁾。さらに本計算手順では、電流源を持たない埋設導体の電位が、これに流入・流出する電流の総和が零となるように定まり、加えてこの電位が測定系全体の電位に及ぶことを考慮して計算を進めた。計算手順の概略は、以下に示す四段階となる。

- (1) E 極、C 極の電位の分圧比の決定
電位降下法では、測定回路の電源電圧が E 極と C 極の接地抵抗値の比に従って分圧される。キルヒホッフの電流則により E 極からの流出電流と E 極への流入電流が等しくなるように分圧比を決定する。
- (2) 埋設導体の電位の決定
埋設導体は E 極と C 極の電位の影響を受け電位上昇する。埋設導体が電源を持っていないことから、流入する電流と流出する電流が等しくなるような電位に決定する。
- (3) (2) の電位を考慮した分圧比
埋設導体の存在により E 極と C 極の接地抵抗が変化する。これを考慮した電源電圧の分圧比を決定する。この (1) ~ (3) を反復計算し、収束した分圧比を用いて接地抵抗計算を行う。
- (4) P 極の打設位置の決定
これまでの計算の電流を用いて地表面状の点電位の計算を行い、P 極の打設位置である零電位点を求める。

4.2 水槽模型実験による電位計算手順の検証

本計算手順を検証するために水槽模型実験を行った。水槽には $1.21 \times 0.75 \times 0.54\text{m}$ を用い、高さ 0.54m まで水を満たした。E 極と埋設導体には一辺 0.05m の正方四メッシュとし、C 極は長さ 0.03m の棒とした。全て埋設深さは 0m とし、1 の真鍮を用いた。実験条件は図 2 に示す。

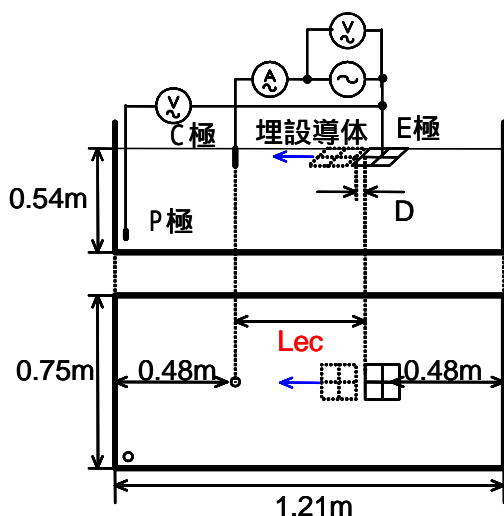


図 2 水槽模型寸法と実験条件

実験回路において E C 極間に 30V 加え、その距離 L_{ec} を 0.16m 一定とした。E 極と埋設導体の距離 D は 0.002m とした。P 極は無遠点を想定して水槽の底部の隅に配置した。水槽壁面の影響を考慮し接地系全体を水槽中央に位置させ、埋設導体を 0.001m 間隔で離隔させた。この条件にて五回の測定を行い、各実験の E 極の接地抵抗値の平均値と計算値の比較結果を図 3 に示す。

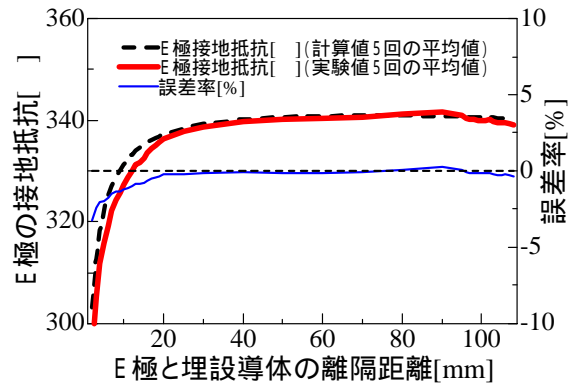


図 3 計算値と実験値の比較結果

図 3 より誤差は、ほとんどの地点において計算値に対して実験値が低く測定されている。これは、水槽内が半無限空間ではないことから電極からの電流流出が完全には放射状になっていないため電流経路が短くなり接地抵抗が低く測定されたと考えられる。また P 極も厳密に言えば零電位点でないことから、P 極基準に測定された E 極の電位が低く測定されるため実験値が低く測定されたと考えられる。

しかし誤差は小さく、特に埋設導体の影響が最も大きい E 極近傍地点と C 極近傍にて埋設導体の影響の傾向が良く一致している。以上より埋設導体が測定結果に及ぼす影響について以後数値解析により検討を行うことができると判断される。

5. 測定結果に及ぼす埋設導体の影響

5.1 E 極と埋設導体の形状と埋設状況

E 極と埋設導体の両極には鉄筋コンクリートのべた基礎中の鉄筋をメッシュ電極と口の字状で構成した電極で模擬したものを採用した。その構成を図 4 に示す。

全ての鉄筋の半径を 0.005m とし、一辺 l が 10m の正方四メッシュに口の字状電極をメッシュの下側に四組配置した。埋設深さ $h = 0.5\text{m}$ とし、その他の条件は図示した通りである。これを E 極と埋設導体に採用した。C 極には電極長さ $l = 1.5\text{m}$ 、14 の標準接地棒を採用した。

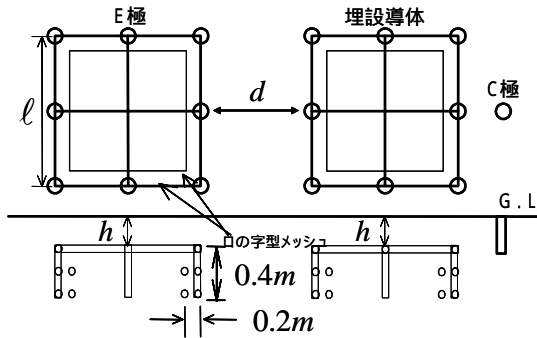


図4 埋設条件と数値計算条件

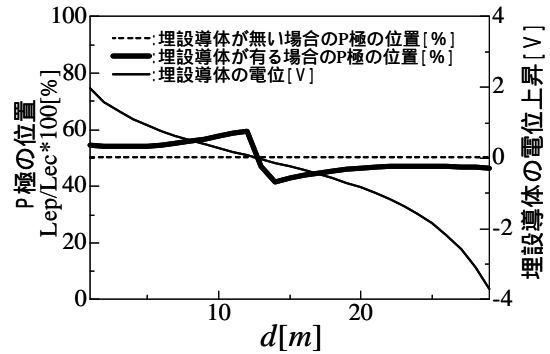


図6 埋設導体の電位とP極の打設位置

5.2 埋設導体がE C極間に存在した場合

3節で述べた通り、E C極間距離はE極真値の90%以上が得られる距離とする。この離隔距離は正方四メッシュの場合E極一辺の四倍(=40m)である。これを一定とし、E C極間にE極と同形状の埋設導体が存在している場合の埋設導体が接地抵抗の測定結果に及ぼす影響を検討した。E極と埋設導体間の離隔距離 d を変化させた時のE極の接地抵抗とその真値に対する変化率を図5に例示する。

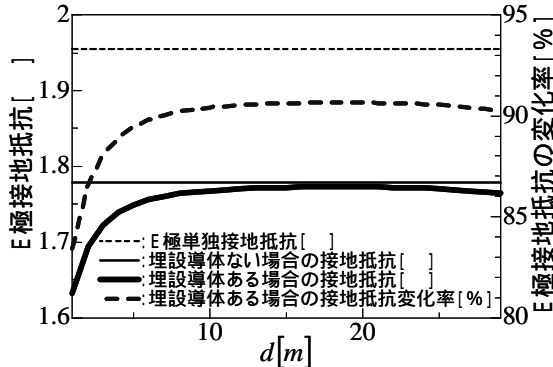


図5 埋設導体による測定結果の変化

図5より、E C間に埋設導体が存在すると、埋設導体の位置に関わらず、接地抵抗が低く測定される。これはE C間の電位が埋設導体により平均化されE極と埋設導体間、埋設導体とC極間の電位傾度が増加し、電流が流出・流入しやすくなったためだと考えられる。特に埋設導体がE極近傍にある場合では、E極接地抵抗は真値の約83%と大きく低下している。これは、埋設導体の電位がE極に近づき、E極の規模が増大したようになるためだと考えられる。また、埋設導体がC極近傍となる場合でも僅かではあるがE極の接地抵抗が低下する。これはC極の規模がE極方向へ増大したようになり、これによる電位の影響がE極の電位上昇に影響したためと考えられる。

5.3 埋設導体の影響とP極の位置

図6に埋設導体の離隔距離 d と埋設導体の電位並びにP極の位置(零電位点)の関係を示す。

E C間の印加電圧を100VとするとE極とC極の電位は5Vと95Vとなり、分圧比は19となる。同図より、埋設導体はE極の近傍にある場合は、正側に電位上昇し、C極近傍に存在している場合は負側に電位上昇している。

P極の打設位置は埋設導体がE C極間中心に存在する場合が最も影響を大きく受け、埋設導体の位置が少しでも変化すると約±10%も移動する。これは埋設導体の電位上昇が地表面の電位分布に影響を与え、零電位点の位置が変化したためである。このように埋設導体が存在するとE極の接地抵抗値はC極の存在による減少に加え、さらに減少し、P極の位置も変動する。このようにE極近傍に存在した場合は精度良く測定を行うことは困難であると考えられる。

5.4 埋設導体の位置による影響

埋設導体がE C極間以外に存在した場合について、次の二通りの埋設導体の影響を検討した。

- ・埋設導体がE極外側近傍に存在していた場合
- ・埋設導体がC極外側近傍に存在していた場合

両場合とも埋設導体と通電電極との離隔距離は1mとし、E C各極近傍の内側に等しい離隔距離とした場合の埋設導体の影響と比較検討した。この埋設導体の位置を図7に、接地抵抗の結果を表1に示す。

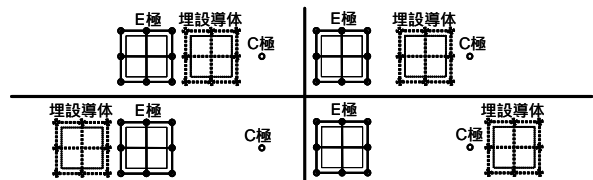


図7 埋設導体と通電電極の相対位置
表1 E極接地抵抗値と埋設導体の位置の関係

条件	計算値[Ω]	真値[Ω]	変化率[%]
埋設導体無し	1.7853	1.9627	90.962
E極近傍	1.6380		83.456
	1.6528		84.210
C極近傍	1.7719		90.278
	1.7935	91.381	

表 1 より E 極近傍に埋設導体が存在している場合には、 α の変化率に大きな差はなく埋設導体が測定結果へ影響していることがわかる。これは埋設導体の位置に関係なく、E 極の規模が増大したようになるためである。つまり埋設導体が E 極近傍に存在している場合は、E 極の単独接地抵抗を精度良く測定することは困難であると考えられる。

しかし C 極近傍に埋設導体が存在した場合は、 α では E 極の接地抵抗は低く測定されているが、C 極の外側に存在する β の場合では測定結果への影響は、埋設導体がない場合より真値に近くなっていることがわかる。これは埋設導体により C 極の規模が増大し、接地抵抗の低下により C 極の電位も低下することで E 極への影響が減少するためと考えられる。

つまり C 極を同じ距離に打設するのであれば、C 極の打設位置は E C 極間に埋設導体が存在しない方向に選択することで、埋設導体の影響を取り除くことができる。

5.5 埋設導体の規模による影響

同形状の E 極を用い、埋設導体を影響が最も大きかった d を 1m 地点に固定し、深さ方向の長さは 0.4m とし、平面的に規模を変化させ埋設導体の規模による測定結果への影響を検討した。

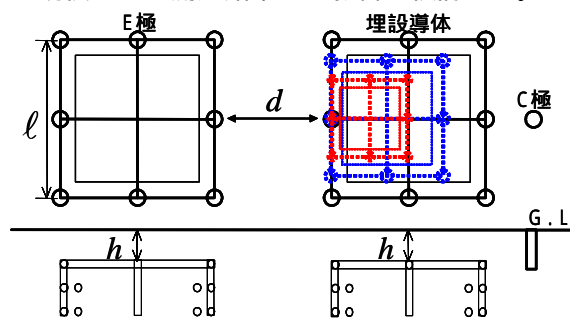


図 8 E 極に対する埋設導体の規模

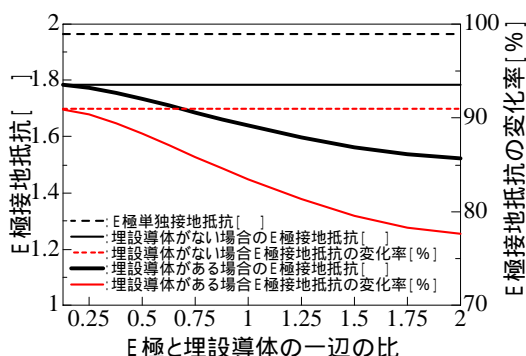


図 9 埋設導体の規模による測定結果の変化

図 9 より埋設導体が大きくなるほど E 極の測定値が低く測定されていることが解る。また埋設導体が E 極一辺の四分の一以下であると接地抵抗の測定結果への影響は 1% 以下と非常に小さ

い。これは埋設導体によって平均化される電位分布の範囲が狭く周囲の電位分布に埋設導体がほとんど影響を及ぼさないからである。従って埋設導体の規模が E 極一辺の四分の一以下であれば測定結果への影響は考慮する必要は無いと考えられる。

6. 測定されるべき接地抵抗

埋設導体が E C 極に対して内、外側近傍に存在していた場合は、どちらも測定結果は真値に対して低く測定されている。これは埋設導体が永続的に存在すると仮定すれば測定時のみでなく、電極は実際に測定された接地抵抗値で機能していると考えられる。

しかし、C 極内側近傍に埋設導体が存在していた場合の測定結果は、C 極の打設方向により測定時のみ埋設導体の影響を受け低く測定される。つまり実際にその電極に故障電流や地絡電流が流入した際は、測定結果とは異なる接地抵抗値で機能する可能性がある点に注意が必要となる。

7. あとがき

本研究では電位降下法を用いて接地抵抗を測定する場合における埋設導体と電流補助極の存在を考慮した接地抵抗の計算手順を検討した。本論で提案する計算手順の妥当性を確認したところ計算値と実験値が良好に一致した。本法を用い埋設導体の影響に関する検討を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) E C 間の何れの位置に埋設導体が存在しても、E 極の接地抵抗は低く測定される。特に、E 極側に存在する場合は測定結果に及ぼす影響が最も大きい。
- (2) 埋設導体が E C 間の中間に存在する場合は、測定結果に及ぼす影響が最も小さいが、P 極の位置が大きく変化し、E 極の電位上昇の測定結果に大きく影響する。
- (3) C 極を同じ距離に打設するのであれば E C 極間に埋設導体を含まない方向に打設することで埋設導体の影響を取り除くことができる。
- (4) 埋設導体の規模が E 極一辺の四分の一以下であればその影響を考慮しなくてもよい。

以上のように、都市部において電位降下法を用いた接地抵抗の測定結果を評価するには、埋設導体に対して C 極の打設方向、P 極の打設位置が正しかったか、E C 極間に被測定電極以外の金属体の存在の有無と規模を把握する必要がある。

参考文献

1) 蒔田 鐵夫 「電流補助極の存在を考慮した接地抵抗測定」
電気学会論文誌 Vol.119-B, No.3, pp359~374 (1999)