建築構造体接地を採用した場合の

コンクリートのかぶりと接地特性に関する基礎研究

日大生産工(院) 日大生産工 ○鷲尾 洋範 蒔田 鐡夫

1. まえがき

近年、地絡保護用や避雷針用の保安用接地電極を個別に設ける個別接地方式から1つの接地電極に一括して設ける統合接地システムが採用されつつある。この接地電極には鉄筋コンクリート造の基礎部分を接地電極として代用する、いわゆる構造体接地が採用されるようになってきた。この時、接地端子に代用する鉄筋コンクリート中の鉄筋のかぶり厚さは約20[mm]程度であり、この間に粗骨材の砂利とモルタルが混合されたコンクリートが介在する。

本研究では、鉄筋と大地との間に介在する コンクリートの材齢と電気抵抗の関係を調査 し、代用電極として利用可能である根拠を明 示し、数値計算により検討することが出来る ように、電位計算プログラムを用いて電気抵 抗の計算を行う事を目的とする。

2. 実験方法および測定方法

2.1 試料の概要

図1に示すように、一般的な構造体基礎の表面付近の一部分を模擬するため、本報告では試料の形状を既報の円柱状^{1),2),3)}から四角柱に変えた。かぶり厚さは10、15、20[mm]の3種類とした。鉄筋を模擬した真鍮丸棒の直径は10[mm]で、試料内部の長さは110[mm]である。なお、コンクリート試料に使用した砂利はふるい分けを行ない、8×8[mm]以下を小砂利、19×19[mm]以上を中砂利とした。

2.2 実験装置の概要

水道水を満たした水槽の中央に試料を設置し、図2に示す回路を構成した。ここでRsは水槽外部の抵抗を模擬した補正抵抗である。

鉄筋から流出する電流の挙動を考慮して、 模擬鉄筋3本のうち、中心の一本のみの電流を 測定し、抵抗を算出した。

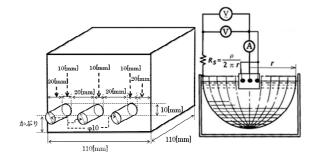


図 1 模型電極外形と寸法 図 2 測定回路

3. 数值計算方法

本研究で用いた電位計算プログラムは、重ね合わせの理と電気影像法を用いて数値計算を行うものである。

3.1 電位計算式

鉄筋コンクリートの抵抗値を求めるために、鉄筋を大地に対して水平に埋設された場合の三次元直交座標系における地中の任意点(x, y, z)の電位計算式を示す。

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

ここで、 ρ は大地の抵抗率 $[\Omega \cdot m]$ 、Lは回転 楕円体の一要素の長さ[m]、I は全流出電流 [A]である。

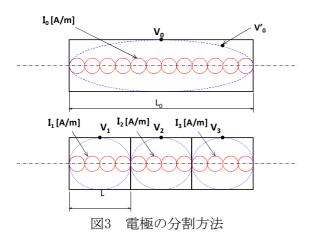
鉄筋の電気抵抗率は大地の抵抗率に比較して著しく低いため、鉄筋より大地中に流出する電流は、鉄筋の表面電位が一定となるように、分布する。すなわち、中心からの電流流出量は少なく、両端から多く流出する様に分布する。しかし、図3に示す様に電極 L_0 [m]を分割せずに、その中心軸上に均等電流源がならんでいると、この電流源の作る等電位面は回転楕円体となる。この時、 V_0 と V_0 の表面電

The basic research on grounding characteristics of the concrete in utilizing the reinforcement in the base of the structure as earth terminal.

Hironori WASHIO and Tetuo MAKITA

位は等しくならないので、表面電位が一定という条件を満たさない。そこで、1つの導体を一要素の長さL[m]で分割する。分割した各要素内の電流が作る回転楕円体状の等電位面による表面電位 $V_1 \sim V_3$ が等しくなるように電流が分布すると、鉄筋の表面電位をより一定として見ることができる。

本研究では1本当たりの電極を3分割にして 計算を行った。



3.2 電気影像法

G.F. Tagg⁴⁾氏の著書中にある電気影像法を用いて計算する必要がある。図4は電気影像の概念理図である。なお、図のG. Lは地表面、Z軸はコンクリートと大地との境界面を表している。

電気抵抗率 ρ_1 のコンクリート中に存在する実像電極より流出した電流は ρ_2 (大地側) の影響を受けて流出する。これを考慮するために、境界面に対称な位置に電流源の強さ kI を有する影像電極1を考える。この k は、(2)式に示す様に ρ_1 と ρ_2 の比によって定まり、反射係数と呼ばれる。

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \tag{2}$$

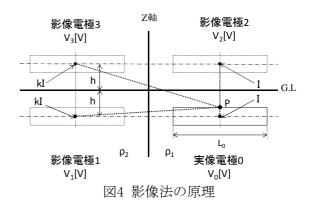
次にG.Lを考える。そのとき実像電極に対して空気中側に同量同符号の影像電極2、影像電極1に対し空気中に同量同符号の影像電極3を仮定する。この様に仮定すると空気は絶縁物であるため、実像電極並びに影像電極1から空気中に電流が流出することのない、地表面を表す事ができる。

これら、実像電極と影像電極1,2,3の電流による、実像電極中心直上の点Pの電位を(1)式により計算し、この電位を V_0 , V_1 , V_2 , V_3 [V]とすると、これらの合計電位がP点の電位Vとなり

電極自身の電位となる。

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 \tag{3}$$

以上より、オームの法則から、接地抵抗を算 出することができる。



4. 実験結果

4.1 実測による結果

材齢に対する抵抗の変化率を図5~図9に例示する。なお、図中の(c)はコンクリート、(m)はモルタルの場合である。抵抗の変化率は、抵抗値を大地側の抵抗率 (ρ_2) を50 $[\Omega \cdot m]$ とし、初日の測定の180分後の抵抗値を100%として、正規化した。

図5と図6は湿潤状態の材齢に対する抵抗の変化率である。図より明らかなとおり、砂利の粒度とかぶり厚さによらず水に接触後、約40分で一定値に達する。また、既報の結果(円柱状)に比較すると変化が鈍い。これは、試料表面と水が接触する面積が異なっているからである。

図7と図8は湿潤状態から開始した材齢と 抵抗の変化率である。かぶり深さや砂利の粒 度が異なっても、抵抗の変化率の傾向には大 きな差異は見られない。しかし、既報の結果 と比較すると、本試料の変化は鈍い。これは、 試料と水との接触表面積が相対的に減少し、 モルタル中の導電性物質が外に流出する速 さが低下したためと考えている。

図9はコンクリートとモルタルを比較した結果である。図示の通り、両者には大きな違いは見られないが、モルタルの方が若干変化が遅い。これは、砂利を含むコンクリートは、セメントの使用量が少なく、セメントの主成分より溶出する水酸化カルシウム(導電性物質)の溶出量が少ないためと考えられる。しかし、鉄筋のかぶり部分に砂利が多く介在することは少ないので、大幅な抵抗の変化は起こらないと考えている。

次に、コンクリートについて既報の結果と 比較すると、材齢の経過に伴い、変化率に大 きな差が生じている。この差は、先に記述し たように、試料形状に違いがあり、導電性物 質の拡散速度が異なった為であると考えられ る。

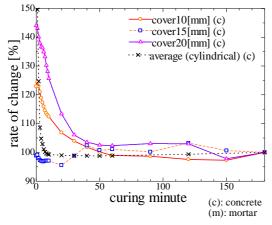


図5 材齢と抵抗の変化率 (湿潤状態・小砂利使用)

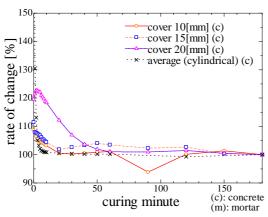


図6 材齢と抵抗の変化率 (湿潤状態・中砂利使用)

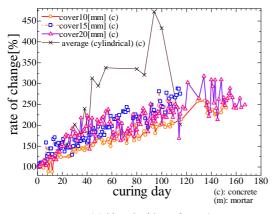


図7 材齢と抵抗の変化率 (湿潤状態・小砂利使用)

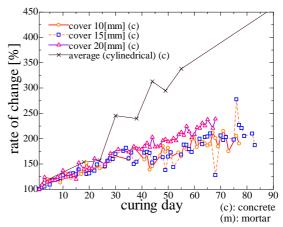


図8 材齢と抵抗の変化率 (湿潤状態・中砂利使用)

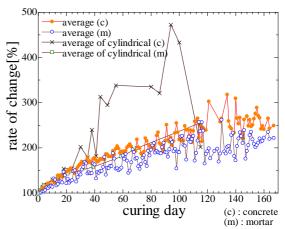


図9 材齢と抵抗の変化率(湿潤状態)

4.2 数値計算法による結果

図10は、大地抵抗率を $50[\Omega \cdot m]$ 一定とした時のコンクリートの電気抵抗率を $50[\Omega \cdot m]$ から $10,000[\Omega \cdot m]$ まで変化させた時の、かぶり深さをパラメータに取った抵抗の変化率で、コンクリートの電気抵抗率が $50[\Omega \cdot m]$ 地点を100[%]としてある。

図10より、抵抗の変化率は、第1に、電気抵抗率が50[Ω ・m]~2000[Ω ・m]付近では、コンクリートに含まれる導電性物質が大地に流出していると仮定した様相を示していると考えることが出来る。第2に、2000[Ω ・m]以上になると、導電性物質が大地中に完全に流出したものと考えられる様相を示していると考えることが出来る。

かぶり10[mm]、15[mm]、20[mm]を比較する と最終的に抵抗の変化率が160[%]から180 [%]で一定となるが、かぶりが小さい方が 変化率が大きくなる。これは、かぶり10[mm] 中に含まれる導電性物質の割合が他のかぶりより少ない事を裏付けていると考えられる。即ち、実験値の図7,図8と計算結果の図10を照らし合わせると、実験値のほうが抵抗の変化率が大きい事がわかる。この様な違いが発生した理由として、コンクリートの粗骨材に使用した砂利が原因であると考えられる。その理由として、図9の結果から、モルタル試料の方がコンクリート試料の変化率の値が小さいからである。

ただし、この差は全体かの数値から見ても 小さいので、図10の数値はコンクリートの場 合でも抵抗の変化率の傾向が同様な傾向を示 すと考えられる。

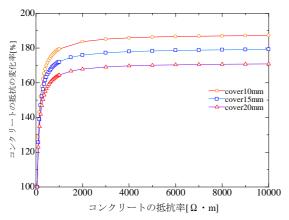


図10 大地抵抗率が一定時の変化率特性

5. 現実問題への適用

以上の結果より、初日の180分後の実験結果より、抵抗値の範囲は853 $[\Omega]$ ~1098 $[\Omega]$ となった。この1要素を1100 $[\Omega]$ と仮定し、110個の要素を直列接続(全長12.1m)すると合成抵抗は10 $[\Omega]$ となる。最大の変化率を約500%と仮定しても、合成抵抗は50 $[\Omega]$ となる。

また、この1要素の抵抗値は10[mm]間隔に置かれた3本中の両脇の鉄筋に流れる電流の影響を受けた値である。実際の構造体基礎の底面や側面には同様の要素が複数並んでいるので、その面全体から電流が流れ出るとすると、抵抗の値はかなり低減する。

実験値と理論値を総合的に見ると、半年も すれば、抵抗値の変化率が安定することとな る。ただし、粗骨材を使用すると多少、変化 率が大きくなる。

6. まとめ

- ①材齢の経過に伴って、試料内部の導電性物質が流出すため、抵抗の変化率は増加していく傾向となる。
- ②かぶり厚さの相違による材齢と抵抗の変化率に大きな違いは見られない。
- ③コンクリートはモルタルに比べ抵抗の変 化率は若干変化は早いものの同様な傾向 となる。
- ④実際の構造体基礎の底面や側面には同様の要素が複数並んでいる。その面全体から電流が流出することになるので、抵抗の値はかなり低減する。
- ⑤理論上、かぶりが大きいと、小さいものに 比べ最終的な抵抗値の変化率は少なくな る。

7. 今後の課題

- ①一般的なビルに該当する、かぶり30[mm]、 40[mm]の試料を作成をし測定を行う。
- ②数値計算を行う際、現在は電極の両端の円 の断面から流出する電流を考慮しないで 数値解析を行っているので、誤差を少なく するようにダミー電極を配置して今後計 算を行う。
- ③実際の建築構造体に近い大きさで数値で 計算を行い、接地抵抗が十分に取れている か調査を行う。
- ④コンクリートに含まれる導電性物質の流 出の時間的変化について調査を行う。

「参考文献」

- 1) 蒔田 鐡夫:「コンクリートのかぶりと接 地特性に関する基礎的研究」 2008年(第26 回)電気設備学会全国大会 E-6
- 2) 蒔田 鐡夫:「コンクリートのかぶりと接 地特性に関する基礎的研究,(2)」2009年(第 27回) 電気設備学会全国大会 C-11
- 3) 蒔田 鐡夫: 「コンクリートの基礎的な電 気的特性」 2009.9.10, 電気設備学会誌 Vol.29, No.9 p783-p788
- 4)G.F, TAGG: EARTH RESISTANCES, 1964, GEORGE NEWNES LIMITED, Chapter 9 EARTH ELECTRODES IN NON-HOMOGENEOUS SOILS