

コンクリートの電気的特性に関する研究(1)

日本生産工 〇 蒔田 鐵夫
日本生産工(院) 片山 敏幸

キーワード：構造体接地、鉄筋コンクリート、含水率、電気抵抗率、接地抵抗

1. まえがき

周知のように、人身安全の確保並びに機器保全のため、各種の保安用の接地電極が設けられる。この接地電極には、矩体の地下部分を利用した構造体接地も統合接地ならびに雷保護用接地極として、その使用が認められている。また、米国電気工事規定ではコンクリートで包んだ接地電極の使用を認めており、コンクリートフーチングの中には裸銅線(長さ6m以上、断面積 21mm^2)を埋設するよう指示している。これらは、土中に埋設された鉄筋コンクリートが土中水分により湿潤状態にありしかも高大な面積で大地と接触しているためである。しかし、含水率と電気抵抗率の関係についての数値は明確に示されていない。

一般に、コンクリートは、完全乾燥状態では性能の良い絶縁物であるが、水分を含むと抵抗を示し出す。ここで、コンクリートの電気的な特性(電気抵抗率)についてはこれまで、若干ではあるが参考文献1にその記述があるのみで、コンクリートの含水率と電気的特性の関係が明らかにされているとは言い難いのが現状である。

本研究では、鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造の基礎の鉄筋を接地電極として代用した場合、大地と鉄筋との間に介在するコンクリートの電気的特性を把握することを主な目的として、基礎的な実験を試みた。

2. 実験方法²⁾

2.1 コンクリートの配合比と形状

実験に供した試料はセメント：砂：水の混合比を1：3：1定とし、これに砂利を1～4の割合で混合した1：3：1：1～1：3：1：4の4種類とした。ここで、砂利はふるいにかけて分類し、粒径が約8mm以下を小、約8～15mmを中、約15mm以上を大とした。

電気的特性の測定には、内側の寸法が一辺0.1mの立方体状の木製の型枠を作成し、これに調合したコンクリートを流し込み、約24時間後に型枠をはずし、供試料とした。

2.2 測定回路と測定方法

コンクリートの養生日数に対する電気的な特性の測定にはFig.1に示す測定回路を用いた。一辺0.1mの銅板を、コンクリートとの密着性を確保するために湿らせた布を挟み電極として取り付け、LCRメーター(MZ2355(NF回路)又はLCR Hi-TESTER 3523-50(HIOKI))に接続した。高抵抗の測には超絶縁計(TDM-6602C 又はTAM-600(東亜電波))により測定した。

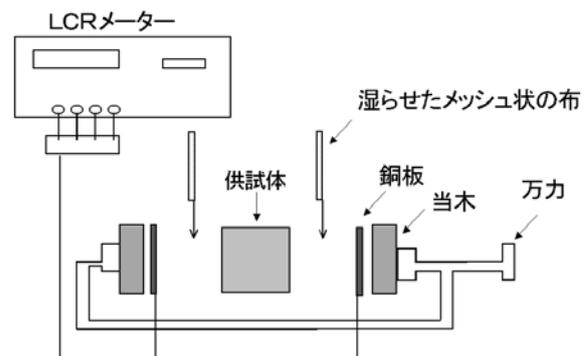


Fig.1 測定回路

養生日数と含水率との関係を得るための供試料の重量は、上皿天秤(UW6200H(島津))にて実験直前に測定した。自然乾燥(養生日数21～23日)の後、 200°C に調整した乾燥炉(UW6200H(SFIMADZU社))にて2日間乾燥させ、この状態を完全乾燥とした。測定に際し、室温と湿度を常に温湿度計(SK-80TRM(SATO KEIRYOKI))で監視した。

電気抵抗率は以下の基本式より逆算した。

$$R = \rho \frac{d}{S} \quad \text{より、} \quad \rho = R \frac{S}{d}$$

ここで、 S : 供試料の面積[m²]、 d : 供試料の長さ[m]である。

含水率は、実験時の質量 W_t と乾燥炉で完全乾燥後の質量を W_0 として、次式の様に定義した。

$$\text{含水率} = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \text{ [\%]}$$

3. 実験結果

3.1 コンクリートの含水率

コンクリートの電気抵抗率は、コンクリート中の水分中に含まれるイオン化物質が電気伝導を示すことになるので、含水率に左右される。また、モルタルとコンクリートでは、骨材の有無により、水分を含むことの出来る空隙の量に違いが出る。さらに、コンクリートの場合は、骨材である砂利の粒度と混合量によっても異なってくる。

そこで、先ず自然乾燥状態に於ける養生日数と含水率の関係を求めた。結果をFig.2に示す。同図には砂利の粒度による含水率の変化が少なかったため砂利の粒度：中の場合を例示してある。セメント：砂の混合比を1：3一定とし、砂利の割合を1～4と変化させた場合での何れの試料に於いても、養生日数の経過に伴い、含水率は3～4日目までは急に減少し約10日以降ではほぼ一定となる。また、含水率は骨材である砂利の混合量による影響を若干受けていることがわかるが、一般的な混合量に近い1：3：2～1：3：3ではほぼ同程度の含水率となっている。

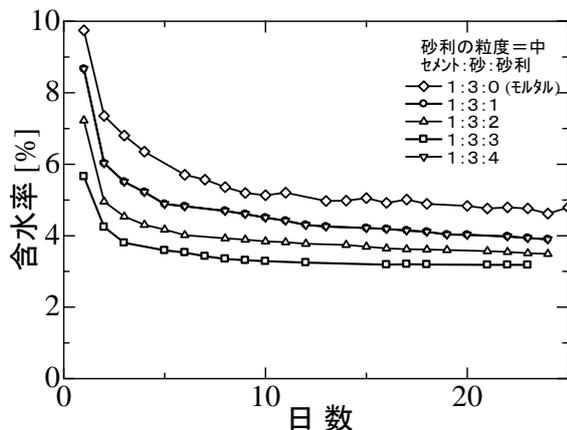


Fig.2 養生日数と含水率の関係

3.2 コンクリートの電気抵抗率

Fig.2を基に、得られた含水率と電気抵抗率の

関係をFig.3に示す。図より明らかな通り、電気抵抗率は何れの混合比における試料についても含水率の増加に伴い急激に低下する。そこで、関東ローム層の平均電気抵抗率と考えられる $\rho = 100 \Omega \cdot \text{m}$ と $200 \Omega \cdot \text{m}$ に着目するため、電気抵抗率が $500 \Omega \cdot \text{m}$ 以下の範囲を拡大した結果を同図下側に示す。本図より、同一の電気抵抗率を得る含水率は砂利の混合比が多くなるほど低くなる事が判る。通常のコンクリートの混合比である1:3:3, 1:3:4では約4%の含水率で土壤の電気抵

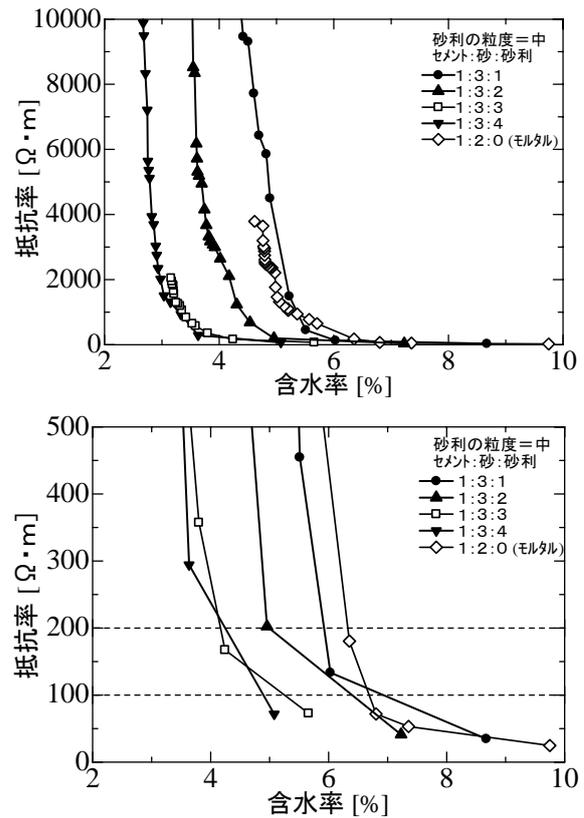


Fig.3 含水率と電気抵抗率の関係

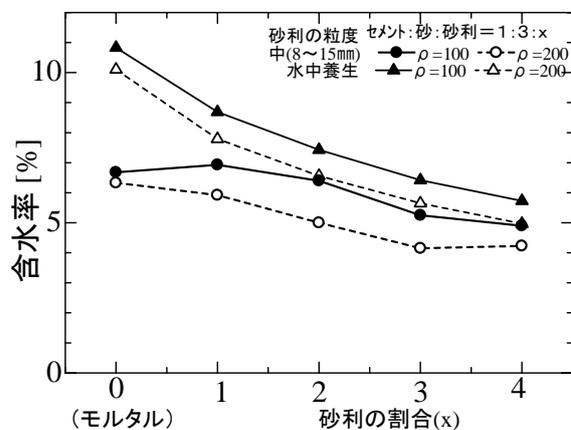


Fig.4 砂利の割合と含水率の関係

抗率と遜色のない値を示している。この時の砂利の混合比と含水率の関係はFig.4に示す通りとなる。

Fig.3とFig.4に示す電気抵抗率と含水率の関係より、砂利の混合比が増加すると同一の電気抵抗率を得る含水率が低下するが、しかし、乾燥しやすいと言うこともできると考えられる。

4. 既設コンクリートの含水率

以上の結果より、コンクリートの電気抵抗率は含水率が約4%以上であれば、大地の電気抵抗率と遜色のない事がわかったのをこれを既設コンクリートで調査した。土中での測定は不可能であるから、地表面近傍で大気中に露出している部分のコンクリート壁面で調査した。学内の7カ所の内、得られた結果の一例をFig.5に示す。なお、使用した含水率計はHI-520(ケット科学研究所)でコンクリートのかぶりを考慮し、測定深度を10~40mmとした。

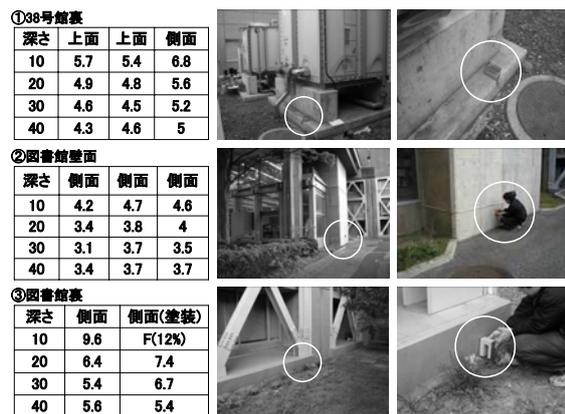


Fig.5 既設コンクリートの含水率

測定場所①は38号館の受水タンクの基礎部分であり、受水槽壁面が結露し易くコンクリートが湿気りやすい場所である。鉄筋のかぶりを考慮し、深さ20mmでは含水率約5%を示した。測定場所②は露出しているコンクリートの周辺がアスファルトで舗装された部分で、比較的乾燥しやすい場所である。しかし、ここでの含水率は①に比較し若干低く約4%を示した。測定場所③は露出しているコンクリートの周辺が非舗装の土壌で、土壌水分の影響が現れやすい場所である。ここでの含水率はコンクリートの表面が塗装されていたため①、②に比較して高く約7%

を示した。しかしながら、鉄筋の存在するであろう20mmを越える深度では約5.8%であることが判る。

比較のため、本額建築棟建設工事時に地表面下約1m地点より採取した土壌の含水率を測定した結果約11%であった。

以上の結果より、空気中に曝された部分での含水率が最大でも約7%であることより、土壌中のコンクリートの含水率は土壌の含水率を考慮すれば約5%を下回らないであろうと推測される事から、基礎用鉄筋コンクリート中の鉄筋を接地端子に利用した構造体は保安用の接地電極として代用可能である事が裏付けられたと考えられる。

5. コンクリートの周波数特性

以上では、いわゆる接地抵抗を得るのに必要なコンクリートの商用周波数程度の低周波領域に於ける電気抵抗率の検討であった。しかし、接地には開閉サージ・一般的に150kHz程度の周波数成分を有すると言われる雷サージ・高周波ノイズの発生源と成りうるインバータを使用した機器の接地など、高周波成分を含む接地電流が接地線を介して伝導ノイズとして流入する可能性がある。従って、EMCと接地との相互関係を討論する上でも、保安用の接地を設計する上でもコンクリートの直流的な電気抵抗率の特性を知るのみでは不十分となりつつある³⁾。

本章では、50Hz~5MHzの周波数帯域に対するコンクリートが示すインピーダンスの周波数特性について基礎的な検討を行った。

通常のコンクリートの混合比に比較し若干砂利の混合量が少ない1:3:1に対して周波数特性を測定した。結果の一例を以下に示す。

Fig.6は養生1日目で含水率が約8%、Fig.7は養生21日目で含水率が約4%の結果である。ここで、位相は電流に対する電圧の値であり、負が容量性である事を示している。

含水率が約8%以上と高い場合は砂利の粒度により若干の差異はあるものの、約1MHz程度まではほぼ一定のインピーダンスを示しており、位相差も零度に近く、ほぼ抵抗体としての特性を示している。しかし、含水率が約4%に低下すると、インピーダンスは約20kHzまで徐々に低下しその後やや急激に低下する。この時、位相はより大きくなり容量性の特性をより顕著に示

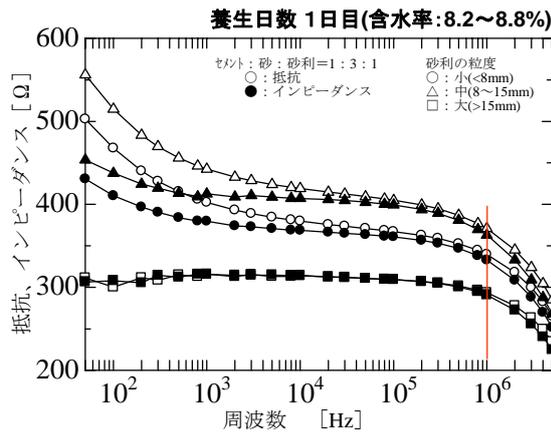


Fig.6(a) 抵抗・インピーダンスの周波数特性
(養生日数：1日目)

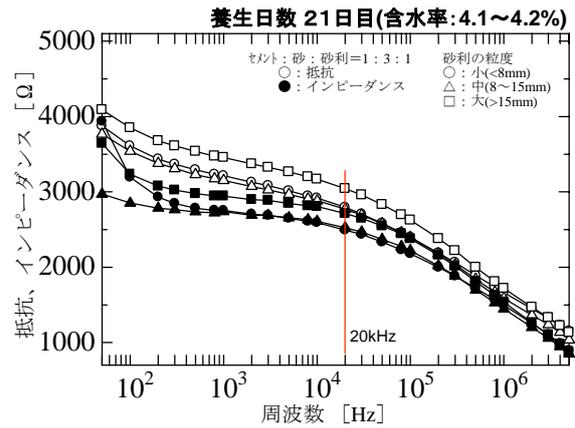


Fig.7(a) 抵抗・インピーダンスの周波数特性
(養生日数：21日目)

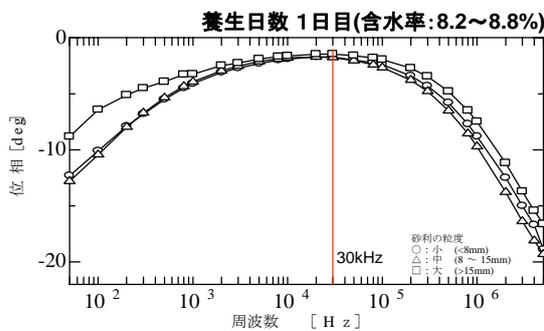


Fig.6(b) 位相の周波数特性
(養生日数：1日目)

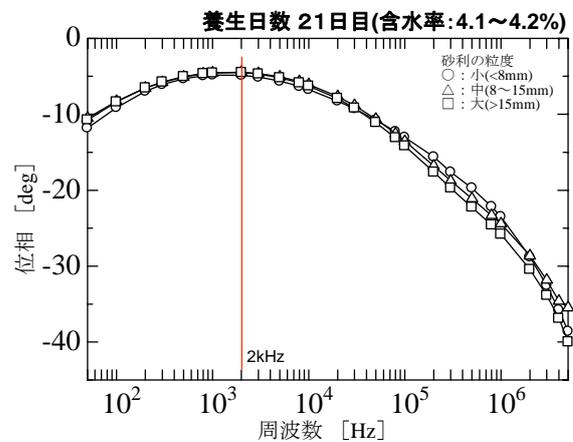


Fig.7(b) 位相の周波数特性
(養生日数：21日目)

すようになる。

以上より、前節で記述したように、土中のコンクリートの含水率は約5%を下回らないであろうと推測されることから、インピーダンスと位相の周波数特性はFig.6(a),(b)に近い物であると推察される。

6. あとがき

以上の結果を要約すると、

(1) コンクリートの電気抵抗率は、含水率が約4%を越えると約 $200\Omega\cdot\text{m}$ 、約5%を越えると約 $100\Omega\cdot\text{m}$ となる。この大きさは、関東ローム層の電気抵抗率と遜色がない。

(2) コンクリートの電気抵抗率は、骨材の粒度より混合量の影響を受ける。

(3) 既設コンクリートの含水率の測定結果より、含水率が約5%を下回らないと推測されることから、基礎用コンクリート中の鉄筋を接地端子

に利用した鉄筋コンクリートは保安用の接地電極として代用可能である事が裏付けられたと考えられる。

(4) 含水率が約8%と高い場合のコンクリートは約1M Hzまでほぼ抵抗体としての特性を示す。また、乾燥が進み含水率が約4%となると容量性の特性を示し出す。

参考文献

- 1) A.M.Neville著、「ネビルのコンクリートの特性」、技報堂出版(1979)
- 2) 蒔田、「コンクリートの電気的特性に関する基礎的研究」、H18年度(24回)電気設備学会全国大会、E-8
- 3) 熊谷悟、「統合接地システムの導入とその課題に関する研究」、H16年度 生産工学研究科電気工学専攻修士 論文