

2 端子法を用いたコンクリートの電気計測

光本 真一* 山崎 雄也** 福間 眞澄*** 高田 龍一****

Electric measurement of concrete using two terminals method

Shin'ichi MITSUMOTO* Yuuya YAMASAKI** Masumi HUKUMA*** Ryuichi TAKADA****

Abstract: Recently, the early stage degradation of concrete structure becomes a subject of discussion. Electric resistance method is one of the non-destructive investigation to investigate the early stage degradation. However, electric resistance method has a large error when measurement by high temperature is performed. Then, when performing measurement by high temperature, it is necessary to improve the error. In this research, two terminals method was applied to measurement. And fundamental investigation about the electrical property of concrete was conducted. In the experiment, mortar was used as a sample. And the resistivity of mortar was calculated at various temperature. From the experiment result, the validity of the measurement which applied two terminals method was able to be confirmed.

Key words: non-destructive investigation, electric resistance method, two terminals method

1. まえがき

コンクリートは優れた圧縮強度を有し、かつ安価で施工が容易であるため構造材料として広く用いられている。従来、コンクリート構造物はその強度さえ十分であれば半永久的にメンテナンスフリーで利用可能であると考えられていた。しかしながら近年、アルカリ骨材反応や内部鉄筋の腐食などに起因するコンクリート構造物の早期劣化が問題となっている。

コンクリート構造物の劣化は従来あまり注目されておらず、十分明らかにされていなかった。そこで、この問題に対処するために多くの調査及び研究が行われ、現在では防止方法などかなり多くの事が明らかとなっている。しかしながら、これらの事を考慮せずに建設されたコンクリート構造物は、現在でも多数利用されている。そこで、既存構造物に対して耐久性を確保するための耐久性診断を行い、内在している劣化要因を検査し、適切な処置を講じる必要がある。

耐久性診断を行うための調査の一つである非破壊検査は、構造物の破壊を伴わない検査であり、同一測定点において何度でも検査が可能である。検査を無数の測定点に対して行う事が可能であるため広範囲の情報を得る事ができる、などの利点を有している。この事から非破壊検査は、コンクリート構造物の耐久性診断を行う際に欠く事のできない重要な役割を担っている。(1)(2)

非破壊検査の一つである電気抵抗法は、コンクリートの電気的性質がその中に含まれる水分の量に対応して変化する事に注目し、コンクリートの電気抵抗を測定する事によってその含水量を求める手法である。コンクリートの含水量を把握する事により、コンクリートの中性化、鉄筋の発錆、アルカリ骨材反応の進行などコンクリートの耐久性に関する情報を得る事が可能である。よって電気抵抗法は、コンクリートの耐久性を調査する有効かつ簡便な手段として期待されている。しかしながら電気抵抗法は、使用材料、調合により校正曲線を求める必要がある事や、高温時における精度に問題がある事などの理由により実構造物に対する適用例は少ない。(3)

原子力発電所施設における遮へい体などのようなコンクリート構造物は、原子炉の温度(原子炉出口における冷却水の温度)が300~400°Cであるため特有の温度履歴を受ける。特に生体遮へいは、放射線を防ぐ役割を担っているため、耐久性を正確に把握する必要がある。このような高温状態における構造物に対して電気抵抗法の適用を検

(2002年11月19日受理)

* 宇部工業高等専門学校 電気工学科

** 宇部工業高等専門学校専攻科 生産システム工学専攻

*** 松江工業高等専門学校 電気工学科

**** 松江工業高等専門学校 土木工学科

討する場合、その高温時における精度を改善する事が必要とされる。

そこで本研究では、電気計測において基本的な手法である電圧降下法における電位差計法を応用し、2端子法を適用した測定装置を用いて、電気抵抗法の高温時における精度の改善を行う事を最終的な目的とする。本レポートでは、その第一段階としてコンクリートの電気特性に関して基礎的な調査を行う事を目的としている。

2. 電圧降下法

電圧降下法とは、オームの法則を直接に応用する事により、未知抵抗 R を算出するものである。その方法として、電圧計と電流計とを用いて電圧および電流を測定し、オームの法則により未知抵抗 R を算出する電圧電流計法や、未知抵抗 R と既知抵抗 R_0 とを直列に接続して、両抵抗に生じる電圧降下 V 、 V_0 を電圧計または電位差計によって測定し、オームの法則により未知抵抗 R を算出する電位差計法などがある。(4)-(11)

3. 実験

3.1 試料および実験方法

試料として厚さ 4 cm のモルタルを用いた。この試料を電極によって挟み込み、その電極系をヒータ内に設置し、所定の直流電圧を印加した。実験回路は電圧降下法における電位差計法を応用したものであり、電極系には 2 端子法を適用している。図 1 に実験回路図を示す。電極系と直列に既知抵抗 $R_0=510k$ を接続し、その端子電圧を DIGITAL MULTIMETER によって測定している。この電圧測定値をもとに、モルタルの電気抵抗率を算出する。

まず、電極素材に関する予備実験を行った。実験では真鍮製電極、アルミ製電極を用意し、それぞれの電極を測定に用いた場合についてモルタルの抵抗率を求めた。なお実験は 30 のヒータ内にて行い、同一のモルタルを試料として用いた。

実験結果より算出したモルタルの抵抗率は、真鍮製電極を用いた場合約 6×10^{12} $\Omega\text{-cm}$ 程度であり、アルミ製電極を用いた場合約 9×10^{11} $\Omega\text{-cm}$ 程度であった。

以上の結果より、同一のモルタルを測定に用いた場合においても、電極素材の違いによって、算出した抵抗率が異なる事がわかる。この抵抗率の違いは、モルタル表面の凹凸によりモルタル - 電極間に微小な隙間が生じ、この部分の抵抗がモルタルの抵抗率算出に影響を及ぼすためであると考えられる。ここで実験に使用したアルミ製電極は、真鍮製電極と比較すると柔軟性が高い事から、この影響が小さいと考えられる。よって本実験は、アルミ製電極を用

いて行った。なおアルミ製電極は、図 1 の様にモルタルと真鍮の間に挿入して実験に用いた。

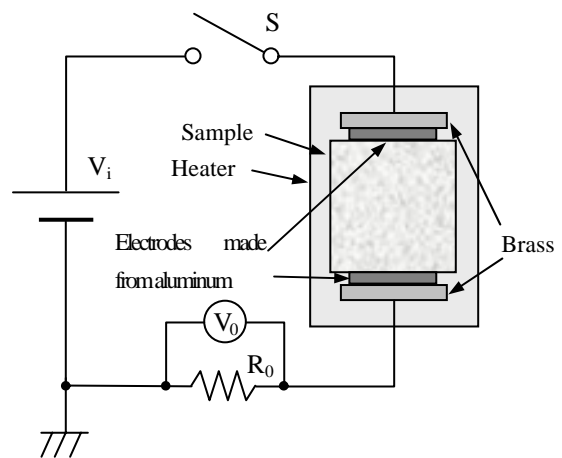


図 1 電位差計法を応用した実験回路図

Fig1. The experiment circuit diagram adapting the potentiometer method

次に、モルタルに対する熱処理に関する予備実験を行った。ヒータ内においてモルタルを 120 で 8 時間加熱し、その後 30 で 16 時間保管するという作業を繰り返し行った。

図 2 にモルタルの抵抗率に及ぼす熱処理回数の影響を示す。同図より、3 回目までの加熱によりモルタルの抵抗率は急激に増加している。一方、4 回目以降の加熱によるモルタルの抵抗率の急激な増加は認められず、ほぼ同程度となる事が確認できた。

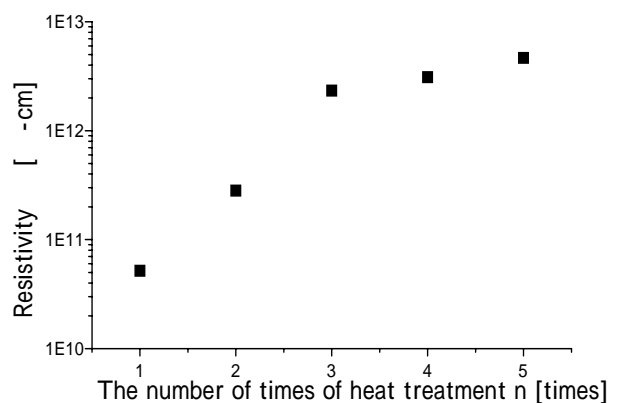


図 2 モルタルの抵抗率に及ぼす熱処理回数の影響

Fig2. Influence of the number of times of heat treatment exerted on the resistivity of mortar

以上の結果より、モルタルの抵抗率は熱処理回数の増加によって変化する事がわかる。ここで、モルタルの抵抗率はその含水量に依存している⁽³⁾ 事から、熱処理回数の増加に伴うモルタルの抵抗率の変化は、その含水量の変化に起因する可能性がある。つまりモルタルの含水量は、温度変化に伴って変化する可能性がある。よって本実験においては、モルタルはこのような熱処理を 3 回行った後、試料として用いた。

3.2 抵抗率の算出

本研究で適用した電圧降下法は、電位差計法を応用したものであり図 1 に示す様にモルタルを電極により挟み込み、既知抵抗 R_0 の端子電圧 V_0 を測定し、式1 を用いてモルタルの抵抗値(電極間抵抗) R を算出するものである。⁽⁴⁾⁻⁽⁸⁾

$$R = R_0 \cdot (V_i - V_0) / V_0 \quad (1)$$

R : 電極間抵抗[] V_i : 印加電圧[V]

R_0 : 既知抵抗[] V_0 : 既知抵抗端子間電圧[V]

さらに電極間抵抗と電極面積、電極間距離より、式2 を用いてモルタルの抵抗率を算出した。

$$= R \cdot A / L \quad (2)$$

A : 電極面積[cm²] L : 電極間距離[cm]

ここで、アルミ製電極の電極面積 $A = 1.0\text{cm}^2$ 、電極間距離 $L = 4.0\text{cm}$ である。

なお、モルタルは内部に空孔などの不連続部分を含むため、式2 により算出される抵抗率はそれらの影響を受けた見掛け抵抗率である。

4.実験結果

4.1 モルタルの電気特性

一般的にモルタルはセメントや骨材などから成る複合材料であり、その組織は均一なものではない事が理解されている。そのため、電極設置位置を試料中央部、及び両端部とした場合について測定を行い、モルタルの抵抗率を求めた。なおヒータ内の温度は 30,65,100,120 であり、電圧印加時間は 5 分としている。

図 3 にモルタルの抵抗率の印加電圧依存性を示す。なお、図中の各点は 5 回の測定の平均値を示すものであり、

電圧印加 5 分後の値を用いたものである。

各測定温度において、印加電圧の増加に伴うモルタルの抵抗率の変化はほとんど認められない。つまり、印加電圧 25V までの範囲においてモルタルの抵抗率は、印加電圧にほとんど依存しない事がわかる。また同図より、温度範囲 30 ~ 120 において、モルタルの抵抗率は約 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12} \text{ } \Omega\text{-cm}$ 程度である事を確認できる。

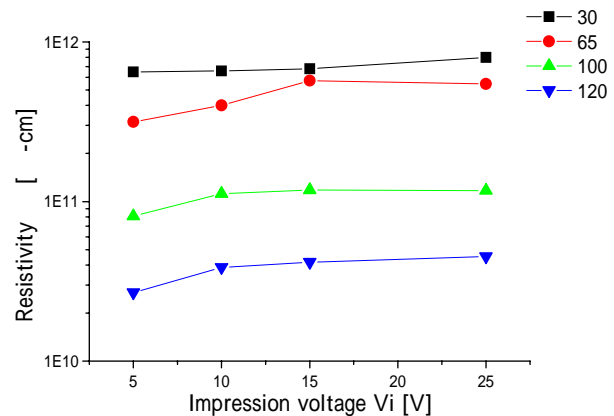


図3 モルタルの抵抗率の印加電圧依存性

Fig3. Impression voltage dependability of the resistivity of mortar

図 4 にモルタルの抵抗率の温度依存性を示す。図 3 より、モルタルの抵抗率は印加電圧に対してほとんど依存せず、各温度においてほぼ同値である事を確認した。そこで、各温度についてモルタルの抵抗率を平均し、各温度におけるモルタルの抵抗率の推定値とした。図 4 の各点は、各温度におけるモルタルの抵抗率の推定値を示すものである。

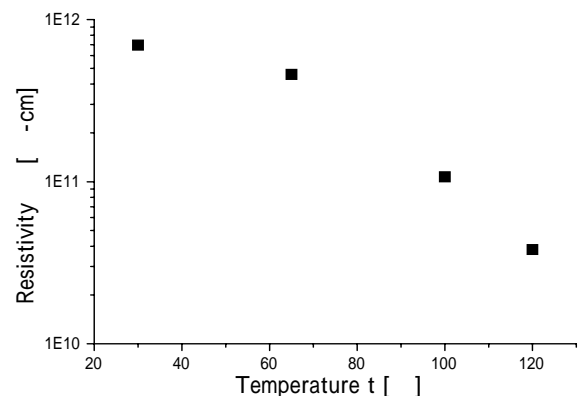


図4 モルタルの抵抗率の温度依存性

Fig4. Temperature dependability of the resistivity of mortar

同図より、モルタルの抵抗率は、温度の増加に伴って減少する事が確認できる。以上より、モルタルの抵抗率は温度変化に伴って変化するため、モルタルの抵抗率をもとに、その含水量を求める際には注意する必要がある。

なお、電極設定位置を試料中央部、及び両端部とした場合の測定結果は、ほぼ同値であった。

上記の結果より、2端子法を適用した電位差計法により求めたモルタルの抵抗率は、温度範囲30~120において約 $1 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{12}$ -cm程度である事を確認した。また、4端子法を適用して求められている一般的な炉乾燥コンクリートの抵抗率は約 10^{11} -cm程⁽¹²⁾であり、2端子法を適用して求めたモルタルの抵抗率とほぼ同値である。

以上の事より、2端子法を適用した電位差計法による抵抗率測定法の妥当性を確認する事ができた。

5.まとめ

以上の実験により、次のような結果が得られた。

- 1 モルタル中の含水量は、温度変化に伴って変化する可能性がある。
- 2 モルタルの抵抗率は温度変化に伴って変化するため、モルタルの抵抗率をもとに、その含水量を求める際には注意する必要がある。
- 3 2端子法を適用した電位差計法を用いて求めたモルタルの抵抗率は、4端子法を適用して求められ

ている一般的な炉乾燥コンクリートの抵抗率とほぼ同値である。このことから、2端子法を適用した電位差計法による抵抗率測定法の妥当性を確認する事ができた。

参 考 文 献

- 1 魚本健人 他：コンクリート構造物の非破壊検査，P1,2,4,5,19，森北出版株式会社，1990
- 2 小林一輔：コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断，P24,99,153,154，森北出版株式会社，1991
- 3 日本非破壊検査協会：新非破壊検査便覧，P1129-1131,1137-1139，日刊工業新聞社，1992
- 4 西野治：電磁気計測，改訂版，P136,137,144，電気学会，1979
- 5 田中正吾：基礎電気計測，P74,75,77,78，朝倉書店，1995
- 6 大森俊一：基礎電気・電子計測，P122-126，槇書店，1990
- 7 豊田実：電気計測学，P141,142，朝倉書店，1975
- 8 山内二郎：電気計測便覧，第2版，P378-380，オーム社，1975
- 9 鈴木昇：テストとオシロスコープ，P5-15,16，理工学社，1973
- 10 三好正二：電気・電子計測，P119,120，東京電機大学出版社，1995
- (11)江端正直 他：入門電気・電子計測，P55,56，朝倉書店，2000
- 12 後藤幸正 訳：ネビルのコンクリートの特性，P381，技報堂出版株式会社，1980