

電極法による含水率の測定に関する検討結果

高橋 久雄 久保田 昌吾
永井 康淑 長尾 覚博

Results of Study on Moisture Content Measurement of Concrete by the Electrode Method

Hisao Takahashi Shogo Kubota
Yasuyoshi Nagai Kakuhiro Nagao

Abstract

This report gives an outline of the electrode method for measuring moisture content of concrete and the results of a study concerning the accuracy of the method. The electrode method has the advantages that it is very handy and is capable of continuously measuring distribution of moisture content in the section of a concrete member. Accordingly, it is thought the scope of application for this method will be very wide. As a result of the study, it was indicated that there is some problem about the accuracy of measurement at early age, but the long-term accuracy of the method is sufficient to assure its practical nature.

概要

本報告は、大林組技術研究所報掲載論文の「構造物躯体コンクリートの強度管理に関する研究」の一環として、コンクリート中の含水率を電極法によって測定する方法の概要および測定精度に関する検討結果を述べたものである。電極法は測定の方法が簡便で、かつ部材断面内の含水率の分布が連続的に求められるなどの利点があり、その適用範囲は非常に広いものと思われる。電極法の測定精度に関する検討の結果、現状の方法では、初期材令における測定精度に問題点があることが指摘されたが、長期材令においては十分実用性のあることを確認した。

1. はじめに

本報告は、コンクリート中の含水率を推定する具体的な方法として提案した。電極法の測定精度に関する検討結果を述べたものである。

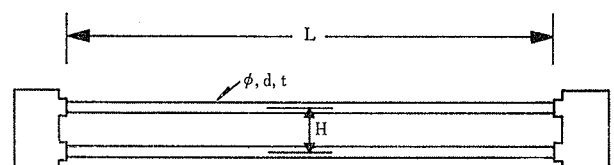
電極法は、測定の方法が簡便で、かつ部材断面内の含水率の分布が連続的に求められるなどの利点があり、その実用性は文献1)で既に十分なことが述べられている。

本報告で検討した電極法は文献1)で提案されている測定回路の一部を改良し、さらに電極間抵抗値と含水率との関係を直接求めて、測定方法を簡略化している点が文献1)とは異なっている。

なおここでいう含水率は、コンクリート単位体積中の遊離水の体積 (o/vol) で表示している。

2. 電極法の概要

電極法は図一1に示す電極をコンクリート中に埋設し、図一2に示す測定回路で、2次電圧 V_2 を測定した後 (2・1)式で電極間抵抗 R を算出し、あらかじめ人工的に含水率を変化させた小型の供試体でコンクリート中の



(注) L: 電極の長さ, ϕ : 電極として丸棒使用の場合の直径
d: 電極として平板使用の場合の幅
t: 電極として平板使用の場合の厚さ
H: 電極間の距離

図一1 電極の形状・寸法

含水率とRとの関係を求めて作成した校正曲線から実測しようとする部位の含水率を読み取るものである。

$$\text{電極間抵抗}(R) = R_0 \cdot V_2 \cdot \left(\frac{1}{V_1 - V_2} \right) \dots\dots\dots (2 \cdot 1)$$

(R: 電極間抵抗, V_2 : 2次電圧, R_0 : 既知抵抗, V_1 : 一次電圧)

本報告で用いた電極法は、電極間抵抗値と含水率との関係を直接求めているので、文献1)の電極間抵抗値から比抵抗を算出して含水率を推定する方法よりも手順がかなり簡略化されている。

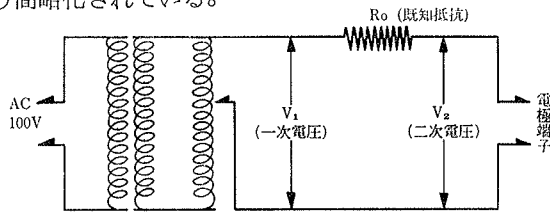


図-2 測定回路

3. 実験概要

実験は、形状寸法の異なる3種類の電極について、10φシリンダー、15φシリンダー供試体を用い、電極によって推定した含水率と、105°C中で絶乾にして求めた含水率との比較を行なうことによって、各タイプの電極の測定精度を検討した。

3.1. 使用材料

実験に使用した材料は以下に示す通りである。

- (1) 骨材——富士川産、川砂（最大粒形 5 mm, FM 2.76）川砂利（最大粒形 25 mm, FM 5.67）
- (2) セメント——普通ポルトランドセメント
- (3) 混和剤——AE減水剤

3.2. コンクリートの調査

コンクリートは、以下に示す一般的な調合条件とし、試し練りによって決定した表-1に示す調合を用いた。

- (1) スランプ——21 cm
- (2) 調合強度——設計基準強度 210 kg/cm² + 標準偏差 25 kg/cm² から、調合強度 ≥ 235 (kg/cm²)
- (3) 空気量——4°/vol

スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	混和剤 (kg/m ³)
21.0	4.0	57.4	46.0	187	315	802	977	0.787

表-1 使用したコンクリートの調合

3.3. 電極の種類と形状寸法

使用した電極の種類および形状寸法は、図-3に示すA、B-1、B-2の3タイプとした。

3.4. 供試体の種類および形状

3.4.1. 校正曲線作成用供試体 電極のタイプ A、B-

1、B-2の校正曲線作成用供試体として、図-4に示す供試体を用いた。

3.4.2. 含水率測定用供試体 電極によって含水率を推定する供試体には、シリンダー供試体を用い、図-5に示すように電極を埋込んだ。また実際の含水率は、

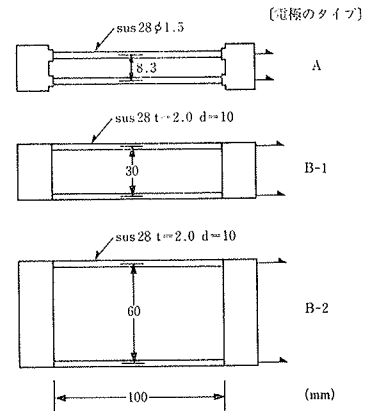


図-3 電極の形状寸法

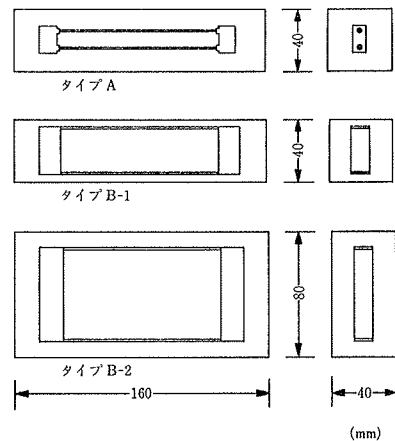


図-4 校正曲線作成用供試体の形状寸法

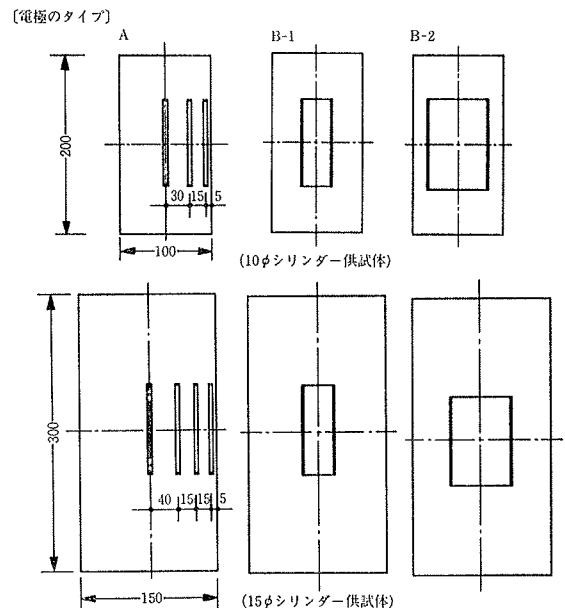


図-5 電極の埋込位置

電極のタイプ	養生の種類	養生条件		供試体の本数	
		温度℃	湿度RH%	10φシリンダー供試体	15φシリンダー供試体
A	標準気中養生	20	60	6	6
	標準水中養生	20	—	6	6
	標準封かん養生	20	—	6	6
B-1	標準気中養生	20	60	6	6
B-2	標準気中養生	20	60	6	6
105℃乾燥により含水率を求める供試体	標準気中養生	20	60	材令(日)	材令(日)
				1-3	1-3
				3-3	3-3
				7-3	7-3
				28-3	28-3
				100-3	100-3
200-3	200-3				

表一2 各供試体の養生条件と数量

10φシリンダー供試体, 15φシリンダー供試体を所定の材令時に105℃の中で恒量となるまで乾燥器にて, 絶乾状態とし, (3・1)式により含水率を求めた。

$$\text{供試体の含水率}(\phi_1 : \%/\text{vol}) = \frac{W_1 - W_{10}}{V} \dots\dots\dots (3.1)$$

(W_i: 材令 i 日における養生後の供試体重量, W₁₀: 同上絶乾後の重量, V: 供試体の体積)

各供試体の養生条件と供試体数は, 表一2に示す通りである。

4. 実験結果

4.1. 供試体作成時のコンクリートの性状

供試体作成時のコンクリート試験結果は, 表一3に示

項目	スランブ(cm)	フロー(cm×cm)	空気量(%)	単位容積重量(kg/ℓ)	練り上り時コンクリート温度(℃)
平均	21.2	374×387	3.1	2.32	22.5

表一3 供試体作成時のコンクリートの性状

養生条件	平均値(kg/cm ³)	標準偏差(kg/cm ³)
20℃ 60%RH気中養生	231	10.5
20℃ 標準水中養生	306	29.7

表一4 材令28日の強度試験結果

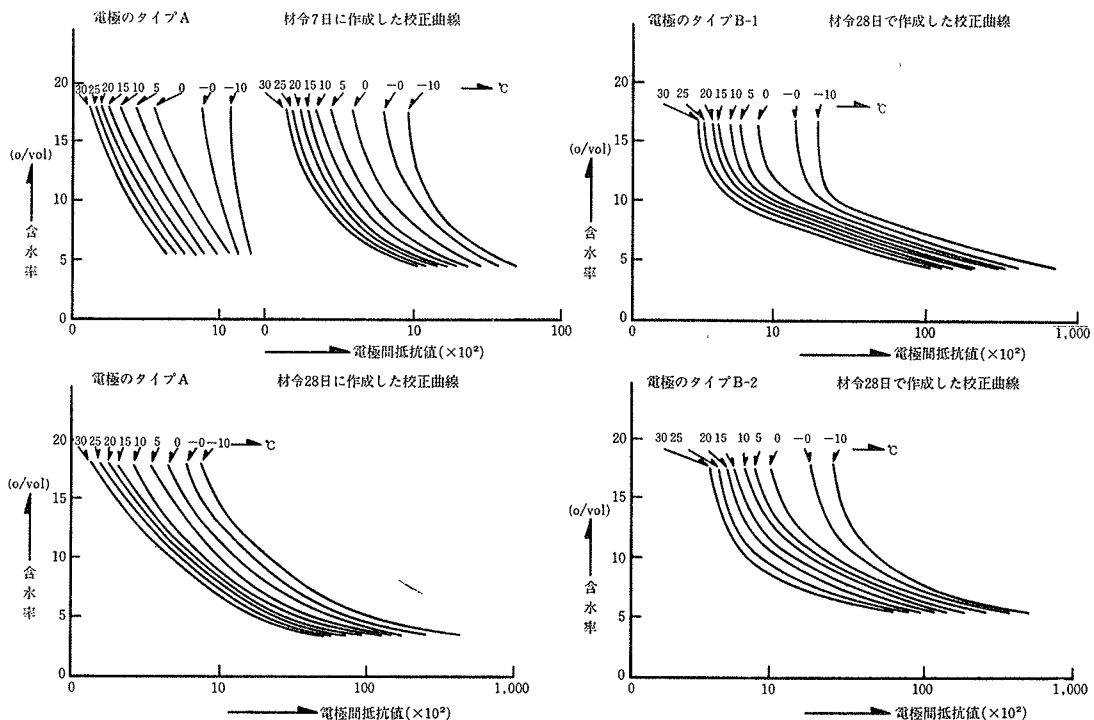
す通りで, 所定の品質のコンクリートを用いることができた。

4.2. 強度試験結果

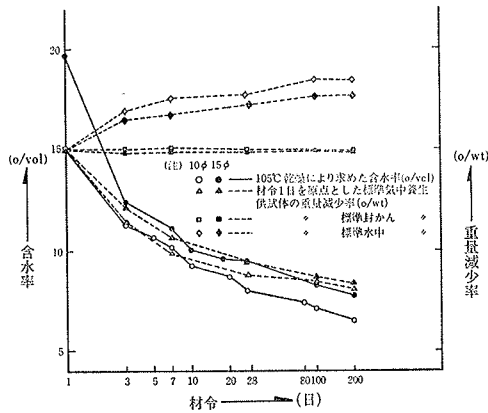
材令28日における, 標準水中と標準気中養生供試体強度は表一4に示す通りで, いずれの場合も設計基準強度を上回った値となった。

4.3. 校正曲線の作成

校正曲線は, あらかじめ, 人工的に含水率を変化させた校正曲線作成用供試体を封かんにし, 電極間抵抗値が温度に依存することを考慮して, 供試体に5℃ピッチの温度変化を与え, その時の電極間抵抗値と含水率から作成した。タイプAの電極については, 材令の相違が校正曲線の形態にどのように影響するかを検討するために,



図一6 作成した校正曲線



図一七 供試体の重量減少率と含水率の変化

材令 3, 7, 28日それぞれの場合について作成し、タイプ B-1, B-2 の電極については材令28日で作成した。

作成した校正曲線は、図一六に示した通りである。これによると、電極のタイプおよび作成材令によって校正曲線の形態がかなり異なることが判明した。従って経時的な含水率を正確に推定するためには、校正曲線を材令毎に作成する必要性のあることが推察される。

4.4. 絶乾によって求めた供試体の含水率の変化および重量減少率の測定結果

20°C, 60% RH 気中, 20°C水中, 20°C封かん各養生条件下における供試体の重量減少率および20°C, 60% RH 気中で養生された供試体を絶乾にすることにより求めた含水率の経時変化を図一七に示した。

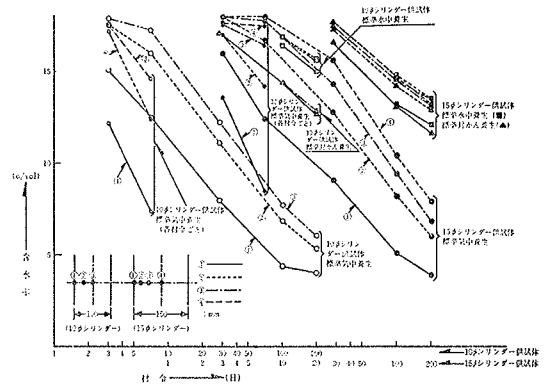
これより、各供試体の重量減少率と含水率の変化について以下に示す特徴が認められた。

- 20°C水中養生された供試体の重量は材令 200日で約 3%/wt 増加し、15φ シリンダーより 10φ シリンダー供試体の方が若干大となった。
- 20°C封かん養生供試体の重量減少率は、ほとんど認められなかった。
- 20°C, 60% RH 気中で養生された供試体は、10φ, 15φ シリンダーとも、重量減少と含水率の低下が大きく、特に材令 7日までの初期において顕著であった。また 10φ シリンダーと 15φ シリンダー供試体の含水率との差は、ごく初期材令において顕著であり、材令 3日以降は、約 1%/vol 程度 15φ シリンダー供試体の方が大であった。

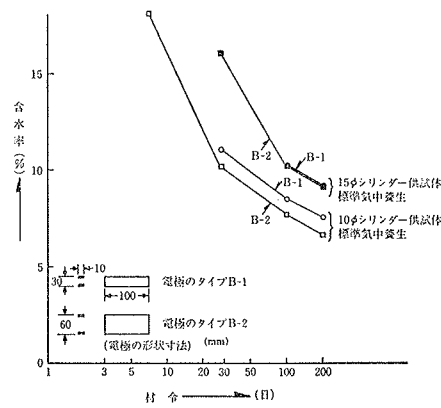
本報告ではこのような結果にもとづき、経時的な重量減少率および含水率の変化が大きいため、20°C, 60% RH 気中で養生された供試体について電極による含水率の推定精度を検討した。

4.5. 電極による含水率の推定結果

電極のタイプ A, B-1, B-2 それぞれの場合の、材令 200日までの、含水率の推定結果を図一八(a) (電極のタ



(a) タイプAの電極による含水率の経時変化



(b) タイプB-1, B-2の電極による含水率の経時変化

図一八 電極による含水率の推定結果

タイプA, 材令28日で作成した校正曲線および、各材令毎に作成した校正曲線を使用) および、図一八(b) (電極のタイプ B-1, B-2 材令28日で作成した校正曲線を使用) に示した。これらの結果によると、電極のタイプAの場合、各材令毎に作成した校正曲線を用いた場合、材令28日に作成した校正曲線を用いた場合とも標準気中養生供試体では、表層部分ほど乾燥の程度が大きく、材令の進行に伴い、含水率が低下し、さらに 15φ 供試体の方が 10φ 供試体より、供試体内部の含水率の低下が少ないという、一般的に予想される傾向と符合した結果となっている。

また、標準封かんおよび標準水中養生供試体では、供試体内外の含水率の差はほとんど認められないが、封かん養生では材令28以降、水中養生では材令 100日以降電極により推定した供試体内部の含水率が低下するという傾向が認められた。これは供試体の重量減少がなくても、水和の進行に伴い、遊離水が減少するためと推察されるが現時点では明らかではない。

校正曲線の作成材令による相違については、各材令毎に作成した校正曲線を用いた場合の方が、材令28日において作成した校正曲線より推定含水率が小となり、特に材令 7日において顕著であった。

電極のタイプ B-1, B-2 については, 10φ シリンダー 供試体, 15φ シリンダー 供試体とも, 内部に一点しか埋設しなかったため, 供試体内部の含水率の分布を推定することはできなかったが, B-1, B-2 とも比較的一致した傾向を示し, 材令の進行とともに, 含水率の推定値は小となり, 電極のタイプ A の場合とその傾向はほぼ類似のものとなった。

4.6. 絶乾状態にして求めた供試体の含水率と, 電極により推定した含水率との比較

電極により推定した含水率が, 絶乾によって求めた含水率と, どの程度符号するかを検討するために, 標準気中養生供試体について, 電極のタイプ別に推定した含水率と, 絶乾により求めた含水率との比較を試みた。その結果は図-9 に示した通りで, 電極のタイプ A および B-1, B-2 の場合とも, 材令100日以降の時点では, 絶乾によって求めた含水率とほぼ一致した結果となっているが, 打込後初期の材令については, 電極によって推定した含水率の方が, 絶乾によって求めた含水率よりもかなり大きく, この点が電極による含水率推定の問題点であろうと考えられる。この原因として 105°C 乾燥によって

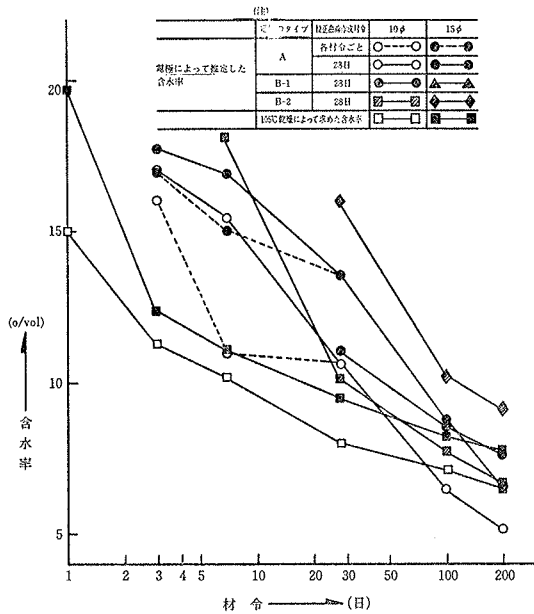


図-9 電極により推定した含水率と絶乾により求めた含水率の経時変化の比較

供試体の含水率を求める場合, 恒量となるまでに約1ヶ月を要し, その間急速に未水化部の水和が進み, 所定の材令における実際の遊離水が減少するために, 電極の測定値との間に差が生ずることが考えられるが詳細については今後の検討課題と思われる。

電極のタイプ別による差については, B-1, B-2 タイプのものは, 材令200日では, 比較的電極による推定値と, 絶乾によって求めた含水率とは, ほぼ一致しているが,

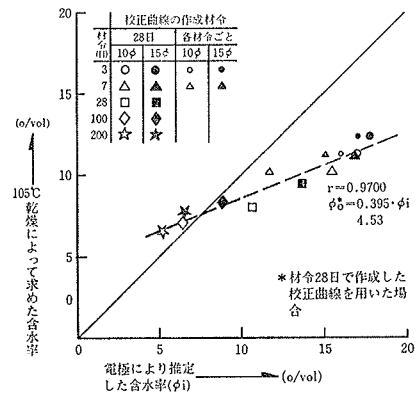


図-10 電極により推定した含水率と, 絶乾により求めた含水率の対応関係(タイプAの電極について)

特に初期材令時における経時的な含水率の変化はあまり良く追従できない傾向があるので, タイプAの電極の方が, 実際の含水率推定には適当と思われる。

従って, 電極法を実用に供するためには, 今後初期材令における誤差がどのような原因によって生ずるのかを明らかにして改善を計る必要があるが, 現時点では絶乾により求めた含水率が実際の含水率に近いと仮定すれば, 実用的には電極のタイプA, 校正曲線の作成材令28日とし, 図-10に示す直線により測定値を補正して推定するのも一方法と思われる。

5. まとめ

検討の結果を要約すると現状の電極法については, 以下の諸点が結論づけられる。

- (1) 初期材令時における測定精度には問題点が残されているが, 長期材令時には現状の方法でも実際の部材の含水率の推定法として, 十分適用が可能と思われる。
- (2) 含水率の経時変化に良く追従できるという点で, タイプAの電極が, 最も適当と思われる。
- (3) 今回は, 一種類のコンクリートについて検討を行なったが, 今後幅広く実用に供することができる電極法を確立するためには, 初期材令における測定精度の確保あるいは, コンクリートの種類による特性の変化などの検討を進める必要がある。

謝辞

本研究を進めるにあたり, 北海道大学助教授鎌田英治博士に貴重な御助言をいただきましたことを感謝致します。

参考文献

- 1) 田畑 洪, 鎌田: 電極法によるコンクリート含水量の測定, 日本建築学会大会学術講演概要集, (昭和51.10), pp.117~118