

コンクリートの電気抵抗率の温度依存性に関する基礎的検討

東北大学 学生会員 守田有輝

東北大学 正会員 皆川 浩, 宮本 慎太郎, 久田 真

1. 研究の背景と目的

電気抵抗率はコンクリートの遮塩性を簡易かつ即時的に評価できる物性値として着目されている。しかし、電気抵抗率には温度依存性があるため、適切な品質評価を実施するには、測定時の温度での電気抵抗率を標準温度（例えば、20℃）の電気抵抗率に補正する必要がある。本研究ではコンクリートの電気抵抗率の温度依存性の評価を目的として、水結合材比、結合材や細骨材の種類を変化させた配合にてコンクリート供試体を作製し、その温度を5℃から40℃まで変化させて電気抵抗率を測定した。

2. 実験概要

2.1 供試体の概要

本研究で用いた供試体の示方配合を表―1に示す。供試体は結合材、細骨材の種類、混和材置換率を変化させた9種類を用意した。なお、供試体の寸法はφ100×200mmである。

コンクリートの練混ぜはJISA1138「試験室におけるコンクリートの作り方」に準拠し、打込み後2時間以内に成形を行い、約24時間後に脱型した。供試体は脱型後、試験開始時まで水温20℃で水中養生を行った。

2.2 供試体の調温方法

コンクリート供試体の調温には、恒温水槽（トーマス化学機器株式会社製、卓上型低温恒温水槽 T-22LA）を用いた。コンクリート供試体を水槽内に静置し、水槽内水温を5℃刻みで5℃から40℃の範囲で変化させた。また、恒温水槽内の水の温度の設定温度はまず初めに20℃から5℃まで下降させた後、5℃から40℃まで上昇させて再び20℃まで戻すこととした。この範囲は養生が一般に行われる温度であり、かつ水の凍結が起こらない範囲である。

2.3 測定項目

(1) 電気抵抗率

コンクリート供試体中心部の温度が水温と同一になり、十分な時間が経ったと見なされた後に電気抵抗率を測定した。測定規格はJSCE-G 581に準拠し、8回の測定値の平均値を電気抵抗率として採用した。

(2) 空隙率

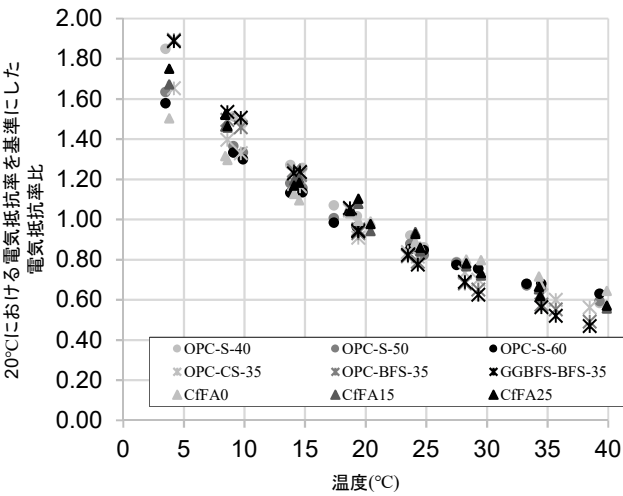
アルキメデス法により空隙率を測定した。

3. 実験結果および考察

図―1に、各温度での電気抵抗率の測定値と20℃での電気抵抗率の測定値の比（電気抵抗率比）と温度の関係を示す。

表―1 本研究で用いた配合

Ser.	ID	W/B (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	OPC	GGBF	FA	BFS	S	G
OPC	OPC-S-40	40	170	425				672	1107
	OPC-S-50	50	170	340				734	1113
	OPC-S-60	60	170	283				789	1103
BFS	GGBF-BFS-35	35	155	266	177		842		1002
	OPC-BFS-35	35	157	449			842		1002
	OPC-CS-35	35	157	449				804	1002
FA	CfFA0	55	170	309		0		811	1035
	CfFA15	55	170	263		46		784	1026
	CfFA25	55	170	232		77		779	1021



図―1 電気抵抗率の温度依存性

キーワード 電気抵抗率, 温度依存性, 活性化エネルギー, アレニウス則

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学工学部建築社会環境工学科 TEL:022-795-7427

図—1 より、温度が上昇するとコンクリートの電気抵抗率は低下する傾向を示しており、すべての配合の電気抵抗率に温度依存性があることが確認できる。既報¹⁾より、この温度依存性は、アレニウス則に基づく式(1)によって記述されることが示されている。

$$\rho_0 = \rho \exp \left[-\frac{1000E_a}{R} \left(\frac{1}{T+273} - \frac{1}{T_0+273} \right) \right] \quad (1)$$

ここで、 ρ ：任意の温度における電気抵抗率 ($\text{k}\Omega \text{ cm}$)、 ρ_0 ：基準となる温度における電気抵抗率 ($\text{k}\Omega \text{ cm}$)、 T ：任意の温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 T_0 ：基準となる温度 ($^{\circ}\text{C}$)、 E_a ：活性化エネルギー (kJ/mol)、 R ：気体定数 8.314 (J/mol K) 。

本研究で測定された結果に対して、式(1)を用いて E_a を算出した。算出に際しては、全てのデータを一括して用いて決定したもの、配合ごとにデータを分類して決定したものの2水準で実施した。 E_a の決定方法は、まず仮に推定した E_a によって得た電気抵抗率の補正值と実測値の相対誤差（式(2)）を計算し、その絶対値が最小となる E_a を探索することで実施した。決定した E_a の値を表—2 に示す。

$$r_{\text{ER}} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad (2)$$

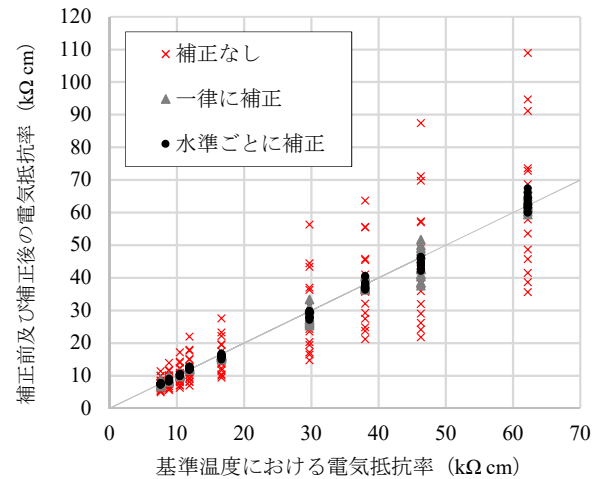
ここで、 r_{ER} ：相対誤差、 ρ ：基準温度に補正された電気抵抗率 ($\text{k}\Omega \text{ cm}$)、 ρ_0 ：基準温度における電気抵抗率 ($\text{k}\Omega \text{ cm}$) である。

図—2 に、決定した E_a に基づく温度補正の有無が電気抵抗率の評価結果に及ぼす影響を示す。温度補正は基準温度を 20°C として実施した。全てのデータを一括して用いて E_a を決定した場合、補正によって、最大で 85.0% の相対誤差を 5.29% まで抑制できた。配合ごとにデータを分類して E_a を決定した場合、最大で 89.4% の相対誤差を 2.55% まで抑制できた。配合ごとに E_a を決定した場合は全てのデータを一括して用いて E_a を決定した場合と比べて相対誤差の絶対値を平均して 1.80% 減少させる結果となった。

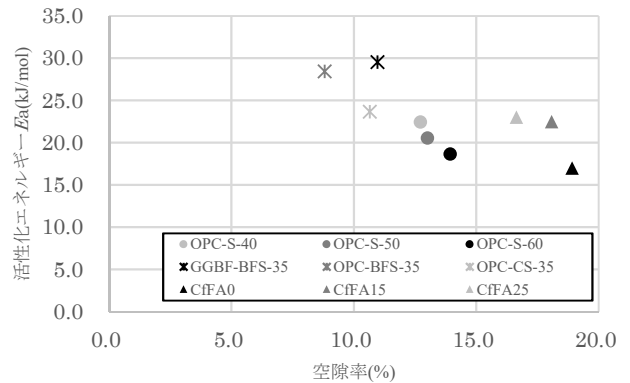
また、図—3 に、配合ごとに決定した E_a と空隙率の関係を示す。基本的な傾向として、電気抵抗率が大きな値を示す空隙構造が緻密なコンクリートほど、活性化エネルギーは大きくなり、温度に対する影響に敏感であることがわかる。このことから、電気抵抗率の温度依存性はコンクリートの空隙構造の緻密さに影響を受けることが示唆される。

表—2 補正に用いた活性化エネルギー $E_a(\text{kJ/mol})$

ID	配合毎に決定した場合	一括データで決定した場合
OPC-S-40	22.4	22.4
OPC-S-50	20.5	
OPC-S-60	18.7	
GGBF-BFS	29.5	
OPC-BFS	28.4	
OPC-CS	23.6	
CfFA0	17.0	
CfFA15	22.5	
CfFA25	23.0	



図—2 温度補正が電気抵抗率の評価結果に及ぼす影響



図—3 E_a と空隙率の関係

4. 結論

コンクリートの電気抵抗率が温度依存性に及ぼす影響はアレニウス則によって評価できる。その際、活性化エネルギーの大きさはコンクリートの緻密さに影響を受ける。ただし、本研究の範囲では、配合を考慮せずに補正に用いる活性化エネルギーを一律に決定した場合でも、ある程度の精度は期待できる。

参考文献

- 1) Coyle Alex: Comparison of Linear Temperature Corrections and Activation Energy Temperature Corrections for Electrical Resistivity Measurements of Concrete, *Advances in Civil Engineering Materials*, 08-Nov-2017, pp. 3-4, 2018