

V-8

モルタル、コンクリートの等価回路に関する一考察

(株) 熊谷組 正会員 梶 好延
東電設計(株) 正会員 金子 雄一
早稲田大学理工学部 正会員 関 博

1. はじめに

本研究では、W/C を 0.4, 0.5, 0.6 としたセメントペースト、モルタル、コンクリートの比抵抗を測定し、既往の実験式である Hinrichson-Rasch 式¹⁾、Archie の一般式²⁾の適用性を検討するとともに、井上³⁾により提案された等価回路の妥当性について考察を加えた。

2. 実験方法

表1は、コンクリート、モルタル供試体の配合、ペースト成分の体積率（これを含有ペースト占有率 ψ とする）等について示したものである。W/C=0.4, 0.5, 0.6 の3種類とし、供試体種別を表す記号中の添字 A, B, C, D ごとに、水、セメント、空気量の体積の比率をほぼ一定とした。さらに、W/C=0.4, 0.5, 0.6 のセメントペースト供試体を作成し、それぞれを P4, P5, P6 とした。

供試体は全て $\phi 5 \times h 10 \text{ cm}$ の形状で、3ヶ月以上の水中養生を行なった後、 $\phi 5 \times h 5 \text{ cm}$ に湿式切断して、温度が 20, 35, 50°C の環境に1週間水中浸漬したまま静置した。

比抵抗は、最大電圧 10mV、周波数範囲 1~100000Hz の交流を供試体に印加し、周波数が 1000Hz でのインピーダンスの実数成分を抵抗として算出した。

3. 実験結果及び考察

コンクリートあるいはモルタルの比抵抗を ρ_{cm} 、セメントペーストの比抵抗 ρ_p とした場合、環境温度 $T[\text{K}]$ と比抵抗 ρ_{cm} あるいは ρ_p との間には(1)式の関係があり、Hinrichson-Rasch 式¹⁾として知られている。ただし、 a_{cm} , a_p , b_{cm} , b_p は定数である。

$$\ln \rho_{cm} = \frac{a_{cm}}{T} + b_{cm} \quad \ln \rho_p = \frac{a_p}{T} + b_p \quad (1)$$

図1は本実験結果に(1)式を適用した一例として、C6A-1 供試体での場合について示したものである。相関係数は 0.99 と非常に良好であり、他の供試体種別についても相関係数が 0.95~1.00 と非常に良好な結果が得られた。

また、Whittington ら²⁾によると、コンクリートあるいはモルタルの比抵抗 ρ_{cm} を W/C 及び養生条件が同一のセメントペーストの比抵抗 ρ_p で除した値を F とした場合、Archie の一般式と呼ばれる(2)式が成立するとしている。ただし、 A , m は定数である。

$$F = \frac{\rho_{cm}}{\rho_p} = A \psi^{-m} \quad (2)$$

図2は、(2)式を本実験結果に対して W/C 別、環境温度別に適用した一例として、W/C=0.6、環境温度 20°C の場合を示したものである。相関係数は 0.94 と良好であり、他の場合についても相関係数が 0.94~1.00 と良好な結果が得られた。

井上³⁾は、モルタルあるいはコンクリートの導電経路を図3によってモデル化し、(3)式を提案している。

$$\frac{1}{R_{cm}} = \frac{1}{R_{pcm} + R_{ag}} \Rightarrow \frac{\rho_{cm}}{\rho_p} = \frac{k}{\psi} \quad (3)$$

ここで、 k はペースト比抵抗係数と呼ばれる定数で、モルタルあるいはコンクリート中に含まれる含有ペーストの細孔構造が、セメントペースト単味の細孔構造とは異なることに起因する定数である。

供試体種別	W/C	空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				配合比 (g)		含有ペースト占有率	備考	
	Y	C	S	G	水	セメント						
C6A-1	10.0	-	7.0	60	173	290	873	69	725	0.336	コンクリート	
C6A-2	17.0	-	7.8	60	193	323	974	76	808	0.374	コンクリート	
C6A-3	3.5	-	6.3	60	152	257	774	1053	1928	0.298	コンクリート	
M6A	-	26.6	10.3	60	259	432	1298	-	102	1080	0.499	モルタル
M6B-1	-	16.0	5.5	60	236	395	1518	-	107	988	0.416	モルタル
M6B-2	-	21.8	5.7	60	259	433	1422	-	117	1083	0.453	モルタル
M6B-3	-	27.3	6.1	60	282	468	1318	-	126	1170	0.491	モルタル
C5C	10.0	-	7.0	50	161	326	873	169	1630	0.336	コンクリート	
M5C	-	25.6	10.3	50	241	488	1292	-	253	2440	0.501	モルタル
C4B	10.0	-	7.0	40	145	370	873	853	210	2467	0.336	コンクリート
M4B	-	22.2	10.5	40	215	550	1298	-	312	3667	0.374	モルタル

※ C6A-3, C5C, M5C, C4B, M4B の減水剤は、高性能減水剤を使用。

※ コンクリートの粗骨材最大寸法は 15mm。

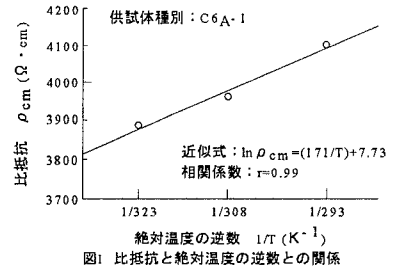


図1 比抵抗と絶対温度の逆数との関係

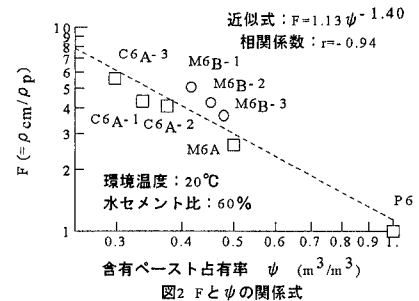


図2 F と ψ の関係式

(3)式を変形した以下の式、

$$k = \psi \frac{\rho_{cm}}{\rho_p} \quad (4)$$

によって得られるペースト比抵抗係数を k_0 とし、(2)式と(3)式を組み合わせ得られる以下の式、

$$k = A \psi^{1-m} \quad (5)$$

によって得られるペースト比抵抗係数を k_1 として、さらに、(1)式と(3)式組み合わせ得られる以下の式、

$$k = \psi \exp \left(\frac{a_{cm} - a_p}{T} + (b_{cm} - b_p) \right) \quad (6)$$

によって得られるペースト比抵抗係数を k_2 とした場合、(3)式が妥当であるならば、 k_0, k_1, k_2 は同一の値となるはずである。

井上³⁾によって、 $W/C=0.6$ のモルタルについては(3)式が妥当であることが明らかとなっているが、本研究では $W/C=0.6$ のコンクリート及び $W/C=0.4, 0.5$ のモルタル、コンクリートについてもその妥当性を検討した。

図4及び図5は、本実験結果における k_0 と k_2 及び k_1 と k_2 の関係について示したものである。図4より明らかに $k_0 \approx k_2$ であるが、図5より k_1 と k_2 の相関係数が0.70となっている。これは、3ヶ月以上にわたる水中養生によって供試体内部の気泡が空隙水によって満たされ、導電経路として作用するためと思われる。従って、(2)式を適用する際には、 W/C 及び環境温度の違いだけでなく、含有ペーストと空気量の体積の比率をも考慮する必要があると考えられる。

図6は、 W/C 別、環境温度別、空気量の設定別に(2)式を適用した一例として、図2を描き直したものであり、 k_1 と k_2 の関係として図7を得た。図7での相関係数が0.99となったことから、(3)式の妥当性が示されたと同時に、飽水状態のセメント硬化体に(2)式を適用する際には、 W/C 、環境温度だけでなく、空気量を考慮することが必要と思われる。

4. まとめ

本実験の範囲では以下のことが明らかになったと思われる。

- ① コンクリート、モルタル、セメントペーストに対して Hinrichson-Rasch 式が適用出来る。
- ② コンクリート、モルタル、セメントペーストに対して Archie の一般式が適用出来る。その際、 W/C 、環境温度だけでなく空気量をも考慮する必要がある。
- ③ コンクリート、モルタルの導電経路は含有ペーストと骨材の並列回路で表すことが出来る。

《謝辞》

本実験を行うにあたり、三菱マテリアル(株)中央研究所の方々、市沢泰之氏(東京工業大学大学院)、西澤正浩氏(早稲田大学理工学部)に御協力を頂いた。ここに感謝の意を表する次第である。

《参考文献》

- 1) E.Hammond and T.D.Robson : Comparison of Electrical Properties of Various Cements and Concretes, THE ENGINEER, Vol.199, No.28, January 1955, pp.114~115
- 2) H.W.Whittington et al. : The conduction of electricity of concrete, Magazine of Concrete Research, Vol.33, No.14, March 1981, pp.48~60
- 3) 井上勝伸, 関 博, 金子雄一: 等価回路を使ったモルタルの導電経路に関する一考察, 土木学会第48回年次学術講演会論文集第5部, 1993年9月, pp.984~985

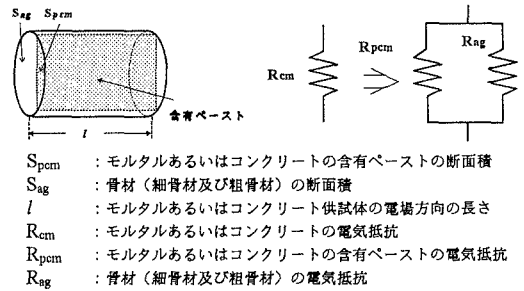


図3 導電経路のモデル化

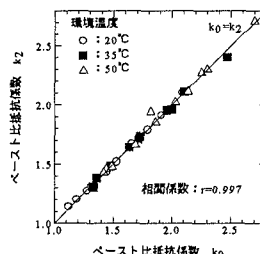


図4 ペースト比抵抗係数 k_0, k_2 の算出結果

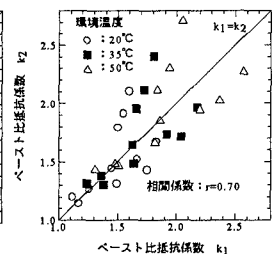


図5 ペースト比抵抗係数 k_1, k_2 の算出結果

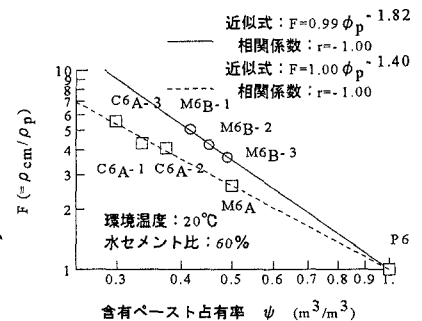


図6 F と ϕ の関係式

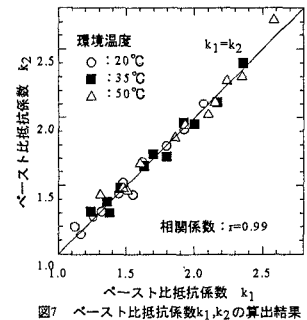


図7 ペースト比抵抗係数 k_1, k_2 の算出結果