

V-221 コンクリートの透気係数の評価方法に関する研究

宇都宮大学工学部 正会員 氏 家 勲
東京工業大学工学部 正会員 長 瀬 重 義
首都高速道路公団 坪 野 寿美夫

1. はじめに

コンクリートを侵食したり、劣化の原因となる物質がコンクリート中に進入することはコンクリートの耐久性に悪影響を及ぼす。そのような物質はコンクリート内部の空隙を通り侵入するが、飽水状態のコンクリートが事実上ほぼ気密である例にみられるように、気体がコンクリートを透過する場合、飽水した空隙部分には通らず迂回して透過するため、コンクリートの透気性は空隙の単純な関数ではない。そこで本研究はコンクリートの電気抵抗を用いて、乾燥により水分が逸散したことによりできるコンクリート内部の空隙構造に検討を加え、その結果よりコンクリートの空隙と透気係数の関係の定量的評価を行うことを目的とする。

2. 実験概要

本実験においてはセメントに普通ポルトランドセメント、細骨材に鬼怒川産川砂(比重2.65, F.M.2.85)、粗骨材に鬼怒川産砕石(比重2.65, F.M.6.73, 最大寸法20mm)を使用した。本実験に用いたコンクリートの配合を表1に示す。供試体は15×15×6cmの角柱供試体を用い、28日間水中養生を行った後、供試体の4側面をビニール系粘着テープでシールして、恒温恒湿室(温度20℃、湿度60%R.H.)で乾燥した。その後所定の乾燥日数に達した供試体は表面をビニール系粘着テープでシールし、コンクリート内部の水分分布が一様となるまで恒温恒湿室に放置した。

表1 コンクリートの配合

V/C	s/a	単 位 量 (kg/m ³)						スラン	空気量
(%)	(%)	水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤	AE剤	(cm)	(%)
40	43	175	438	739	1015	0.525	0	8.5	2.2
	44	164	410	730	1036	0.492	1.64	9.0	3.9
	41	155	388	709	1035	0.465	3.10	6.7	5.1
	39	149	373	665	1055	0.447	5.59	7.8	10.0
	47	175	292	865	1010	0.350	0	8.5	1.9
60	48	164	273	880	997	0.328	1.09	9.2	4.9
	45	155	258	826	1024	0.310	2.07	8.4	6.7
	43	140	233	781	1051	0.280	3.24	9.5	9.3

コンクリート内部の水分分布が一様となったことは、コンクリートの含水率の測定方法として既に報告されている電極法を用い¹⁾、2箇所の電気抵抗が一致することにより確認を行った。コンクリートの電気抵抗 R_c は図1に示す回路により測定し $R_c = R_0 V_2 / (V_1 - V_2)$ によって算出した。

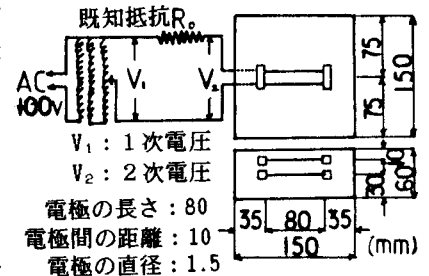


図1 コンクリートの電気抵抗測定方法

コンクリート内部の水分分布が一様となった供試体は図2に示す装置を用いて透気試験を行った。またコンクリートの透気係数 K は次式を用いて算出した。

$$K = 2LP_2 \gamma_a / (P_1^2 - P_2^2) v$$

(P_1 : 載荷圧力、 P_2 : 大気圧、 L : 供試体厚さ、 v : みかけの流速、 γ_a : 空気単位体積重量)

3. 実験結果および考察

実験で得られたコンクリートの透気係数とコンクリートから逸散した水分量の関係の一例を図3に示す。ここでコンクリートから逸散した水分量は供試体の体積で除した値(以下空隙率と呼ぶ)で示してある。測定されたコンクリートの透気係数にややばらつきはあるものの、コンクリートの空隙率が増加するにつれてコンクリートの透気係数は増加しており、その増加割合は水セメント比60%の場合が水セメント比40%より大きくなっている。この傾向は他の空気量においても同様である。

次に、コンクリートの電流に対する性質を用いて、乾燥による水分の逸散がコンクリート内部の空隙構造に及ぼす影響について検討する。飽水状態のコンクリートの電気抵抗 R_s は $R_s = \rho l_s / S \epsilon_s$ 、水分だけの時の電

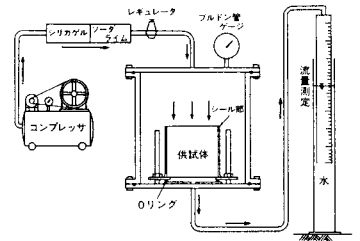


図2 透気試験装置

気抵抗 R_w は $R_w = \rho \ell / S$ (ρ : 水分の比抵抗、 S : 電極の表面積、 ℓ : 電極間の距離、 ℓ_s : コンクリートが飽水状態の時に電気が流れる距離、 ε_s : 全逸散可能水量に相当する空隙率)と表せる。飽水状態における空隙の曲がり角を $\ell_s / \ell = T_s^{1/2}$ と定義すると、 $T_s^{1/2} = \varepsilon_s (R_s / R_w)$ となる。つぎに任意の量だけ水分が逸散した時のコンクリートの電気抵抗 R_x は $R_x = \rho \ell_x / S \varepsilon_s (1-X)$ (ここで ℓ_x : 任意の水分が逸散した時に電気が流れる距離、 X : 全逸散可能水量に対する逸散した水量の割合)となる。同様に $\ell_x / \ell = T_x^{1/2}$ と定義すると、 $T_x^{1/2} = \varepsilon_s (1-X) (R_x / R_w)$ となる。各々の曲がり角の式より $R_x / R_s = (T_x / T_s)^{1/2} (1 / (1-X))$ の関係が得られる。

ここで一般に多孔体において R_x / R_s と X の間には $R_x / R_s = (1-X)^{-n}$ の関係があると報告されている²⁾。そこで本実験で得られたコンクリートの電気抵抗の場合について図4に示す。図4は水セメント比60%の場合について示してあるが、水セメント比40%においても同様な結果となっており、図4の関係より各々の水セメント比について n が求まる。この結果より $T_x / T_s = (1-X)^{2-2n}$ の関係が得られるが、これはコンクリート中に残った水分に関する曲がり角の比である。そこで空气の透過する部分は乾燥により水分が逸散した空隙であるので、任意の量の水分が逸散した時の空隙の曲がり角 T_c は $1-X$ の代わりに X を代入することによって表される。さらに全ての水分が逸散した場合、空隙の曲がり角がほとんど無いと仮定し、空隙率を用いれば、 $T_c = (\varepsilon / \varepsilon_s)^{2-2n}$ となる。

以上の結果を用いてコンクリートの透気係数の算定式を誘導すると、ダルシー則及びボアズイユの法則より以下の式となる。

$$K = (g / \nu) d^2 (\varepsilon + A) / T_c = (g / \nu) d^2 \varepsilon_s^{2-2n} (\varepsilon^{2n-1} + A \varepsilon^{2n-2})$$

(d : コンクリートの毛細管空隙の平均半径、 ε : 空隙率、 A : 空気量、 n : 電気抵抗比と逸散可能水量の飽和の程度から求まる係数、 ν : 空气の動粘性係数、 g : 重力加速度)

上式を用いて計算した透気係数と実験より得られた透気係数の関係を図5に示す。実測された透気係数にばらつきがあるため図5においてもややばらついてはいるが、空气の透過する空隙の曲がり角を考慮することによってコンクリートの透気係数を定量的に評価することができた。

4. 結論

コンクリートの透気係数は乾燥によりコンクリートから水分が逸散するにつれて大きくなるが、コンクリートの透気係数は水分の逸散によりできる空隙の量だけの関数ではなく、その空隙の分布の影響も受ける。空隙が分布することによる空气の透過する空隙の曲がり角はコンクリートの電気抵抗の変化の結果を用いることにより推定することができ、その結果を用いてコンクリートの透気係数を定量的に評価することができた。

本研究に対し、昭和60年度吉田研究奨励金を授与されたことに深謝致します。

参考文献 1) 仕入豊和他, セメント技術年報39, 1985 2) M.R.J. Wyllie et al., Bul. of the Amer. Assoc. of Petroleum Geologists, Vol.36, No.2, 1952

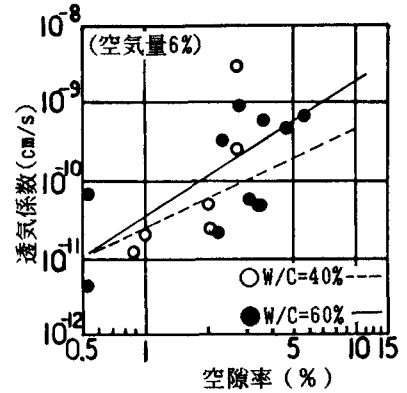


図3 透気係数と空隙率の関係

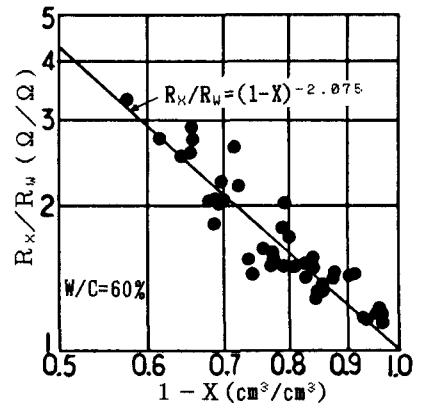


図4 コンクリートの電気抵抗の比の変化

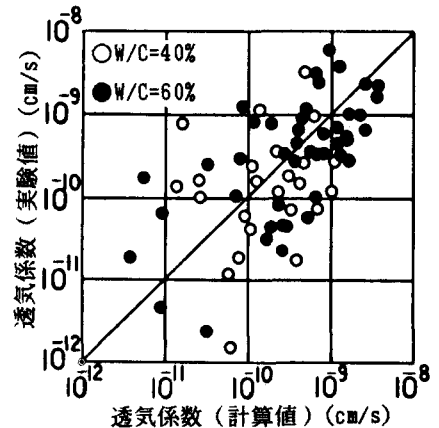


図5 実験値と計算値の関係