

V-369 コンクリートの透気係数と酸素拡散係数の関係に関する一検討

鉄建建設株式会社 正会員 岩澤裕史

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 長瀧重義

1. はじめに

本研究は、鉄筋やPC鋼材の腐食因子の一つである酸素のコンクリートへの侵入を取り上げ、コンクリートの透気係数と酸素拡散係数を測定した。そして、拡散と透気が濃度差と圧力差に起因する物質移動であるけれども、どちらもコンクリートの細孔構造に依存することに着目して、空隙構造の観点から透気係数と酸素拡散係数の関係について検討を加えた。

2. 実験概要

本実験では普通ポルトランドセメントを用い、細骨材に鬼怒川産川砂(比重2.60、吸水率2.56、粗粒率2.95)、粗骨材に鬼怒川産砕石(比重2.65、吸水率1.76、粗粒率6.73)をそれぞれ使用した。本実験で用いた配合を表1に示す。透気および拡散の供試体は $4 \times 15 \times 15$ cmとし、養生は温度 20°C で水中養生を28日間行い、その後4側面をシールして、温度 20°C 湿度60%RHの恒温恒湿室に静置した。乾燥により所定の空隙率(供試体から逸散した水分の体積/両引き供試体のコンクリートの体積)に達した供試体はエポキシ樹脂系接着剤で気密処理を行った。

透気試験は図1に示す装置を用いて、圧力容器に $0.2\text{N}/\text{mm}^2$ の空気圧を与え、コンクリートを透過した透気量を水中置換により定常状態となった後に測定した。透気係数は次式より求めた。

$$K = \{2P_0 L / (P_1^2 - P_0^2)\} \cdot (Q_0 / A) \quad (1)$$

ここで、 K :透気係数 $[\text{cm}^2/(\text{S} \cdot \text{N}/\text{cm}^2)]$ 、 L :試験体厚さ(cm)、 P_0, P_1 :大気圧および載荷圧力 (N/cm^2) 、 Q_0 :透気量 (cm^3/s) 、 A :透気面積 (cm^2)

拡散試験は図2に示す装置を用いて、拡散セルに窒素ガスと酸素ガスを流し、微量酸素分析計で定常状態となった後の窒素ガス中の酸素濃度を測定し、次式より酸素拡散係数を求めた。

$$D = Q_0 L / (S \cdot dC) \quad (2)$$

ここで、 D :酸素拡散係数 (cm^2/s) 、 Q_0 : 1atm での供試体を通る酸素の流量 (cm^3/s) 、 S :拡散面積 (cm^2) 、 dC :供試体両面の酸素の濃度差 $(\text{cm}^3/\text{cm}^3)$

3. 実験結果および考察

図3はコンクリートの透気係数と空隙率の関係を、図4にはコンクリートの酸素拡散係数と空隙率の関係をそれぞれ示す。図中の直線は実験結果の回帰直線である。透気係数はすでに明らかにされているように¹⁾、空隙率とよい相関関係があり、空隙率の増加とともに大きくなっている。酸素拡散係数もまた図4に示されるように、空隙率の増加とともに大きくなっており、空隙率の関数として表せる。また、既往の研究で報告されているが²⁾、水セメント比の違いによる酸素拡散係数の差は透気係数の場合に比べてあまり顕著ではない。

次に、コンクリートの透気係数と空隙率の関係は同一の半径の管を有する多孔体モデルをコンクリートに用いて次のように表している。

表1 コンクリートの配合およびスランブと空気量試験結果

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)				AE減水剤 (Dx%)	AE剤 (Dx%)	スランブ (cm)	空気量 (%)
		W	C	S	G				
40	44	164	410	762	968	0.25	0.30	12.0	4.3
60	48	164	273	886	978	0.25	0.30	7.7	4.0

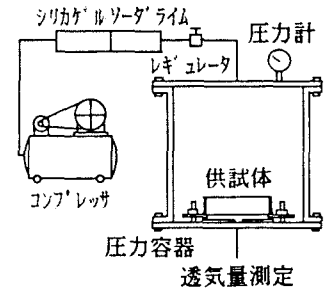


図1 透気試験装置

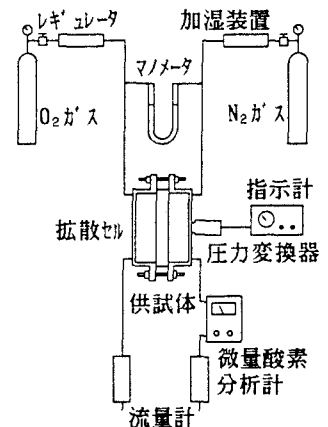


図2 酸素拡散試験装置

$$K = C_1 [(\varepsilon + a)/\tau^2] d^2 \quad (3)$$

ここで、 d はコンクリートの毛細管空隙の平均半径、 a は空気量、 τ は細孔の屈曲度、 C_1 は定数である。一方、セメント系材料中の酸素の拡散は分子拡散が支配的であることから²⁾、上述の多孔体モデルから酸素拡散係数は次式ようになる。

$$D = C_2 [(\varepsilon + a)/\tau^2] D_m \quad (4)$$

ここで、 D_m は分子拡散係数、 C_2 は定数である。式(3)、(4)から透気と拡散の違いはあるけれども、どちらも細孔構造の物理的性質に依存する項を含むことが分かる。

次に、空隙率に関する項を取り出すため、所定の空隙率の時の透気係数と酸素拡散係数で式(3)、(4)をそれぞれ除する。さらに d 、 C_1 および C_2 は空隙率が変化しても一定であるとする以下関係が得られる。

$$\frac{K}{K_0} = \frac{C_1 [(\varepsilon + a)/\tau^2] d^2}{C_1 [(\varepsilon_0 + a)/\tau_0^2] d^2} = \frac{(\varepsilon + a)/\tau^2}{(\varepsilon_0 + a)/\tau_0^2} \quad (5)$$

$$\frac{D}{D_0} = \frac{C_2 [(\varepsilon + a)/\tau^2] D_m}{C_2 [(\varepsilon_0 + a)/\tau_0^2] D_m} = \frac{(\varepsilon + a)/\tau^2}{(\varepsilon_0 + a)/\tau_0^2} \quad (6)$$

このように同じ空隙率からの透気係数と酸素拡散係数の増加割合は同じとなる。図5は空隙率2%の透気係数と酸素拡散係数を基準とした場合のそれぞれの増加割合を水セメント比60%の場合について示す。透気係数の増加割合は酸素拡散係数の場合に比べてやや大きくなっているが、ほぼ同じ様な割合となっている。

次に図6は透気係数と拡散係数の関係を示す。図中の直線は図3、4に示されている回帰直線から得た結果を示す。また、図中の点は透気試験および拡散試験において同一の空隙率を有する供試体が得られなかったため、空隙率の比較的近いものについてプロットしたものであるが、水セメント比の違いにかかわらず、透気係数と酸素拡散係数の関係は対数グラフ上で一つの直線で表され、その傾きは1以下となっている。また、回帰直線から得られた結果では、同じ透気係数で比較した場合、水セメント比60%の酸素拡散係数が水セメント比40%の場合より小さくなっているが、これは式(3)、(4)から、透気係数には空隙率以外に細孔の大きさが影響するためと思われる。

4. まとめ

コンクリートの酸素拡散係数は透気係数と同様に空隙率の関数となっていることが分かった。また酸素拡散係数は透気係数と良い対応関係を示していることが明らかとなったが、今後さらに各種のコンクリートにおいてデータを蓄積する必要があると思われる。

最後に、本研究は平成元年度文部省科学研究費補助金を受けて行った一部であることを付記し、深謝する。
《参考文献》1) 氏家勲、長瀧重義：コンクリートの透気性の定量的評価に関する研究、土木学会論文集、No.396、1988 2) 出頭圭三：セメント系材料の酸素拡散性状に関する研究、前田技術研究所報、Vol.29-1、1988

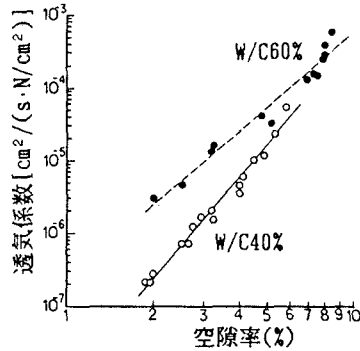


図3 透気係数と空隙率の関係

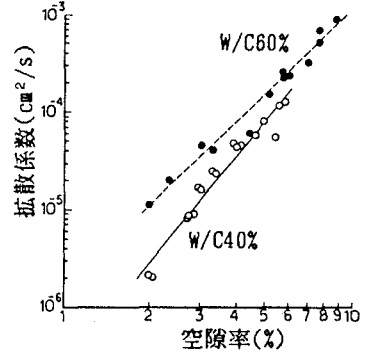


図4 酸素拡散係数と空隙率の関係

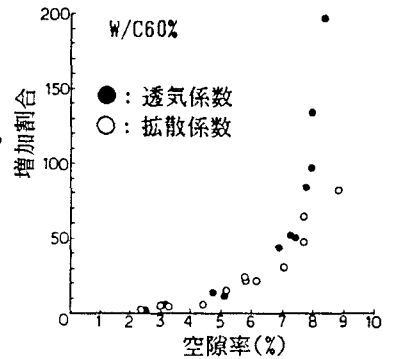


図5 透気および酸素拡散係数の増加割合

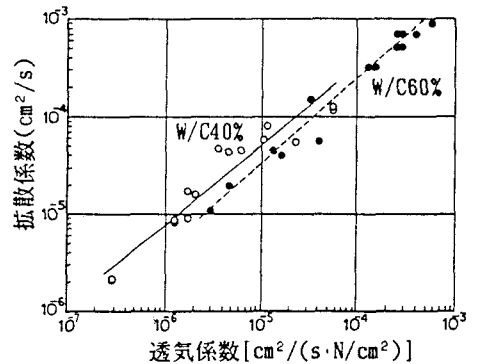


図6 透気係数と酸素拡散係数の関係