

宇都宮大学工学部 正会員 氏家 勲
東京電力株式会社 植崎正尚
東京工業大学工学部 正会員 長瀧重義

1. はじめに

鋼材腐食因子である酸素および塩分のコンクリートへの侵入の程度を把握することは鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計において重要である。著者らは酸素および塩分拡散係数を透気係数により予測することを試み、酸素拡散係数に関しては比較的よい精度で算出することができたが、塩分拡散係数は実測値より大きく評価する結果となった¹⁾。そこで、本研究は透気係数を用いて塩分拡散係数をより精度よく予測する方法およびセメントの種類が異なる場合のコンクリートの酸素拡散係数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（S社製）および超速硬セメント（O社製）を用い、細骨材には鬼怒川

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

配合名	セメントの種類	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							スランブ (cm)	空気量 (%)
				水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	高性能減水剤	AE助剤		
W/C40N	普通	40	44	165	413	760	985	1.031	—	0.0268	11.0	4.5
W/C50N	普通	50	46	165	330	826	988	0.825	—	0.0182	15.0	3.6
W/C60N	普通	60	50	165	275	920	938	0.688	—	0.0193	11.3	4.4
W/C40J	超速硬	40	44	164	410	759	980	—	4.100	0.0223	16.0	4.0

産川砂（比重2.60、吸水率2.56、粗粒率2.95）、粗骨材には鬼怒川産碎石（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。普通ポルトランドセメントの場合、透気および酸素拡散供試体は15x15x5cmで、養生は温度20℃で水中養生28日間行った。超速硬セメントの場合、供試体は15x15x4cmで、脱型せずに6時間湿布養生を行った。その後、温度20℃の恒温室で乾燥し所定の空隙率（供試体から逸散した水分の体積/供試体の体積）に達した供試体を用いて透気および酸素拡散試験を行った。塩分拡散供試体は水中養生終了後コンクリートカッターで10x10x1cmに切り出したものを用い、切断後直ちに塩分拡散試験を実施した。透気試験は20N/cm²の空気圧を供試体に与え、透過した透気量を測定する方法を用いた。酸素拡散試験は窒素ガスをキャリアガスとした拡散セル法を、塩分拡散試験も3.3%NaCl水溶液と蒸留水による拡散セル法を用いた。各試験方法の詳細は参考文献1)に示す。

3. 実験結果および考察

図-1は透気係数と空隙率の関係を示す。図中の直線は実験結果（黒塗りは含まず）を回帰したものである。透気係数は水セメント比およびセメントの種類にかかわらず対数グラフ上で空隙率と直線関係にある。超速硬セメントの場合、普通ポルトランドセメントより直線の傾きが小さくなっている。さらに、空隙率の小さい範囲で透気係数が大きくなっているが、これは超速硬セメントの場合水分逸散の基準を湿布養生終了時としたため供試体が飽水状態となっておらず、実際の空隙率より小さな値となったためと考えられる。また、図中の黒塗りは真空ポンプによりほぼ一定重量になるまで乾燥させた供試体の結果を示す。この時の透気係数と空隙率を全ての空隙から水分が逸散した場合とする。

図-2は酸素拡散係数と空隙率の関係を示す。透気係数と同様に酸素拡散係数も空隙率の増加とともに直線的に増加している。また、超速硬セメントと普通ポルトランドセメントの違いも透気係数と同

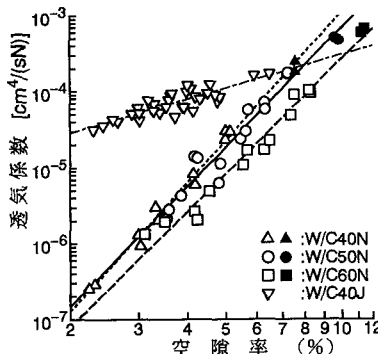


図-1 透気係数と空隙率の関係

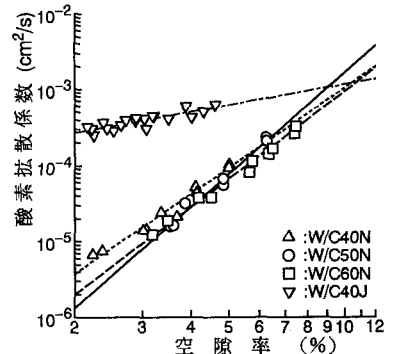


図-2 酸素拡散係数と空隙率の関係

様な傾向を示している。しかしながら、空隙率の増加に対する酸素拡散係数の増加割合は透気係数に比べて小さくなっている。

次に、コンクリート内部の空隙構造を均一な直径を有する円筒でモデル化するとコンクリートの透気係数(K)と拡散係数(D)は空隙率(ε)の関数として以下のように表される¹⁾。

$$K = (Cd^2/\mu)(\varepsilon_s^{1-n}/\tau_o)^2(\varepsilon^{2n-1}) \quad (1)$$

$$D = D_m(\varepsilon_s^{1-n}/\tau_o)^2(\varepsilon^{2n-1}) \quad (2)$$

ここで、 d は円筒の直径、 μ は粘性係数、 ε_s は全空隙率、 n は空隙の屈曲度に関する係数、 τ_o は全ての空隙が透過に関与する場合の屈曲度、 D_m は分子拡散係数、 C は空隙の断面形状に関する係数である。 D/D_m は比拡散率と呼ばれ、式(1)の透気係数にも同じ項が含まれている。そこで、 ε_s に真空ポンプによる乾燥で得られた空隙率を、 μ に空気粘性係数 $1.82 \times 10^{-5} \text{Ns/m}^2$ を、 τ_o に既往の研究から $\sqrt{2}$ を用い²⁾、さらに、透気係数と空隙率の回帰結果 $K = a\varepsilon^b$ の a と b から Cd^2 の項と n がもとまり、透気係数から比拡散率の項を取り出すことができる。

図-3は図-2の酸素拡散係数を酸素の窒素に対する分子拡散係数 $0.181 \text{cm}^2/\text{s}$ で除した実測の比拡散率と透気係数から計算された比拡散率を比較したものである。実測値と計算値の関係は水セメント比およびセメントの種類によらず一つの直線関係となっている。しかしながら、式(1)と式(2)からは直線の傾きは1となるが、図-3では約0.6となっている。これは透気と拡散に関与する空隙構造が共通な部分はあるが全く同じものではないためと考えられる。従って、この結果を用いれば透気係数より比拡散率を算出する次式が得られる。

$$D/D_m = 1.1 \{ (\mu/Cd^2)K \}^{0.6} \quad (3)$$

図-4は式(3)と塩素イオンの分子拡散係数 $1.41 \times 10^{-5} \text{cm}^2/\text{s}$ を用いてコンクリートの塩分拡散係数を予測した結果を示す。式(3)の透気係数には飽水状態での塩分拡散であると考えられることから、真空ポンプで乾燥した供試体の透気係数を用いた。計算値は実測値に比べてどの水セメント比の場合も約5倍ほど大きな値となっているが、既往の結果¹⁾よりも精度よく予測することができた。図-5は酸素拡散係数と塩分拡散係数の実測値から求めた比拡散率を示す。塩分拡散係数の空隙率には真空ポンプで得られた値を用いている。塩分拡散と酸素拡散より求めた比拡散率は式(2)に基づけば一致すると考えられるが、塩分拡散より得た比拡散率は酸素拡散より得たものと傾きはほぼ同じであるが小さな値となっている。この相違および図4の計算値が実測値より大きくなった原因として塩素イオンのセメント水和物との反応や水和物表面との電気的相互作用などが考えられ、さらに精度よく予測するためにはこの影響を考慮する必要がある。

4. まとめ

透気試験および式(3)からある程度の精度をもって酸素および塩分拡散係数を予測できることが明らかとなった。今後、式(3)の実験定数を含めて予測方法の信頼性を高めるためにさらにデータを蓄積する必要がある。

最後に、本研究は平成4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) 氏家勲他: コンクリートの透気性状と酸素および塩素イオンの拡散性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、1993(印刷中)
- 2) Carman, P.C.: Flow of Gases through Porous Media, Butterworths Scientific Publications, pp.1-54, 1956

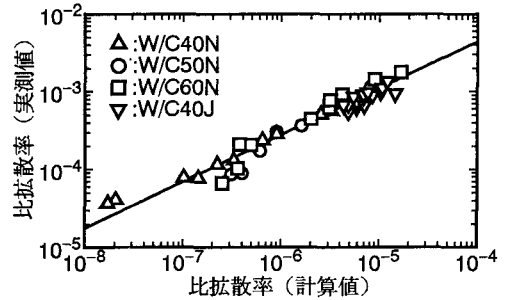


図-3 比拡散率の実測値と計算値の関係

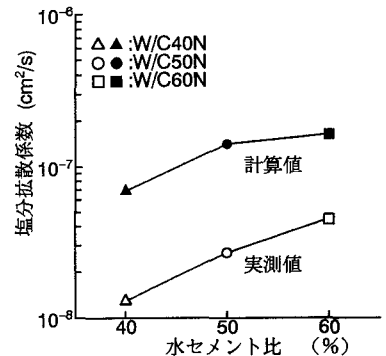


図-4 塩分拡散係数の実測値と計算値の比較

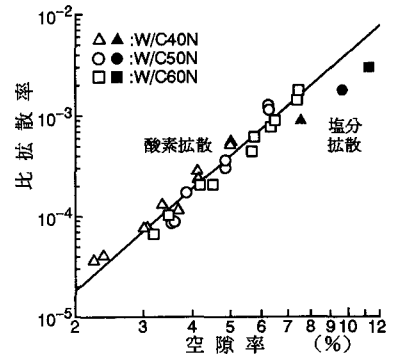


図-5 比拡散率と空隙率の関係