

透気性・透水性試験によるコンクリートの塩分浸透性・中性化の診断法に関する研究

九州産業大学（株）麻生 正会員 ○彌永 育代
九州産業大学工学部 フェロー会員 豊福 俊泰
（株）山九ロートエンジニアリング 高橋 典子

1. まえがき

社会資本の維持管理時代を迎え、既設コンクリートの品質診断法として、非破壊による原位置試験法の開発が課題となっている。本研究は、コンクリートの空隙構造に着目し、構造物の劣化の要因となる、塩分浸透性および中性化の非破壊検査法の確立へ向けて、ダブルチャンバー法による透気性・透水性試験の適用性を検討したものである。

2. 試験概要

供試体は、柱部材（高さ $60 \times 50 \times 20\text{cm}$ ）、床部材（高さ $20 \times 50 \times 60\text{cm}$ ）とし、表-1 に示す 8 配合のレディーミクストコンクリートを用いて、環境条件、材齢を変化させた。試験面は、柱部材：片側側面、床部材：上面・下面とし、透気性・透水性試験後にこれらの箇所からコアを採取し、塩分浸透性試験および中性化深さの測定を行った。ダブルチャンバー法による透気性・透水性試験（写真-1 参照）では、各試験面で 2 箇所ずつ透気性指数 K ($\times 10^{-16}\text{m}^2$ 、以後 K 値)、透水性指数 P ($\times 10^{-10}\text{m/s}$ 、以後 P 値)を測定し、平均した。採取コアの塩分浸透性試験については、JSCE-G 572-2003 に基づき 10 日間塩水に浸漬させた後、JIS A 1171 に基づき塩化物イオン浸透深さ DC (mm)の測定を行った。また、中性化深さ Cd (mm)は、JIS A 1152 に基づき測定を行った。

3. 試験結果と塩分浸透性・中性化診断法の検討

図-1 に水セメント比 W/C (%)と K 値、 P 値、塩化物イオン浸透深さおよび中性化深さとの関係を示す。全体的に見ると、いずれも水セメント比が大きくなるにつれて測定値も大きくなる傾向が認められ、低品質 (W/C 大)のコンクリートほど、透気性、透水性が大きく、塩分浸透および中性化に対する抵抗性が低いことを示している。また、土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリートの耐久性を満足する水セメント比は 65%以下となっているが、 K 値に関しては、概ね $10 \times 10^{-16}\text{m}^2$ より小さく（図-1 (a) 参照）、 P 値に関しても、概ね $10 \times 10^{-10}\text{m/s}$ より小さい傾向が認められる（図-1 (b) 参照）。よって、 K 値および P 値は、透気性・透水性試験による品質診断において、そのコンクリートが耐久性を満足しているか否かの指標となると考えられる。

次に、 K 値と塩化物イオン浸透深さの関係を図-2、 P 値と塩化物イオン浸透深さの関係を図-3 に示すが、 K 値、 P 値ともに、対数式による正の相関関係が認められる。また、濃度 10%の NaCl 水溶液による 10 日間の促進試験の結果ではあるが、 K 値が $0.01 \times 10^{-16}\text{m}^2$ 、 P 値が $0.01 \times 10^{-10}\text{m/s}$ より小さい範囲では、塩化物イオン浸透深さは概ね 5mm より小さい値を示しており、最大値が 40mm 以上である

表-1 実験計画

コンクリートの種類	水セメント比 W/C (%)	材齢	供試体 (測定面)	環境条件 (養生方法)
普通15	86	1年		
普通22	68	2年		
普通30	61($W=185$)	3年	柱部材 (側面)	屋内(空気中)
普通40	54($W=164$)	4年	床部材 (上面)	屋内(湿潤)
普通45	49($W=150$)	5年	床部材 (下面)	屋外(空気中)
普通60	45	6年		屋外(湿潤)
	37	7年		
	30			



写真-1 ダブルチャンバー透気性試験(左)
ダブルチャンバー透水性試験(右)

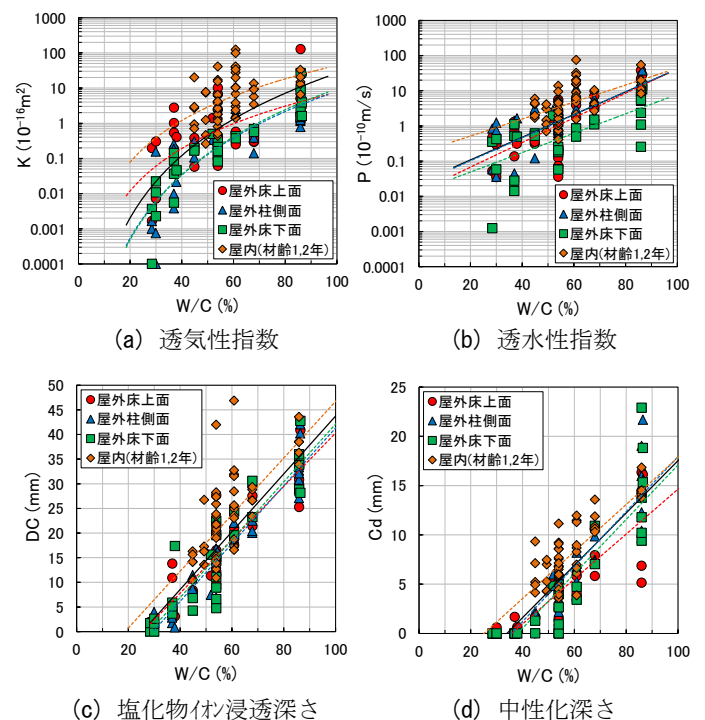


図-1 水セメント比と各測定値の関係

ことを考慮すると、塩分浸透に対する抵抗性が特に高いと判断される。一方、K 値が $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、P 値が $10 \times 10^{-10} \text{m/s}$ より大きい範囲（つまり、コンクリートの耐久性を満足していない場合）では、全体の関係式で、塩化物イオン浸透深さは 30mm より大きくなる傾向にあり、構造物のかぶりによっては、鉄筋位置にまで塩分浸透が達する可能性も十分にあると考えられる。よって、K 値が $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、P 値が $10 \times 10^{-10} \text{m/s}$ より大きい範囲では、塩分浸透に対する抵抗性が特に低いと判断される。

次に、K 値と中性化深さの関係を図-4、P 値と中性化深さの関係を図-5 に示す。K 値、P 値ともに、対数式による正の相関関係が認められる。また、材齢 7 年までの結果ではあるが、K 値が $0.01 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、P 値が $0.01 \times 10^{-10} \text{m/s}$ より小さい範囲では、中性化はほとんど認められず、中性化に対する抵抗性が特に高いと判断される。一方、K 値が $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、P 値が $10 \times 10^{-10} \text{m/s}$ より大きい範囲では、全体の関係式で、中性化深さは 10mm より大きくなる傾向にある。√t 則によると、材齢 7 年で 10mm の場合、遅くとも材齢 63 年で中性化深さは 30mm となり、構造物の耐用年数以前に、鉄筋位置にまで中性化が達する可能性が十分にあると考えられる。よって、K 値が $10 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 、P 値が $10 \times 10^{-10} \text{m/s}$ より大きい範囲では、中性化に対する抵抗性が特に低いと判断される。

このように、K 値あるいは P 値により、簡便にコンクリートの塩分浸透性や中性化を診断することは有効であると考えられる。また、さらに高精度に求めるのであれば、図-1～図-5 に示すとおり、環境条件、部材により、値や相関性に差が生じていることから、これらを考慮し複合的に行う必要があると考えられる。よって、塩化物イオン浸透深さ DC (mm) ならびに中性化深さ Cd (mm) と、K 値 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)、P 値 ($\times 10^{-10} \text{m/s}$) との関係を、環境条件、部材別に重回帰分析（変数増減法、 $F_{in}=F_{out}=2.0$ ）で求めた。代表して屋外柱部材側面の推定式を式(1)、式(2)に示す（n：データ数、R：重相関係数、 e_s ：残差の標準偏差、式下段の（ ）内は T 値）。

$$DC = 18.126 + 5.205 \cdot \log K + 7.060 \cdot \log P \quad (1)$$

(13.1) (4.8) (4.8)

(n=38, R=0.865, $e_s=5.85\text{mm}$, 図-6 参照)

$$Cd = 6.651 + 3.756 \cdot \log P + 2.241 \cdot \log K \quad (2)$$

(9.0) (4.8) (3.9)

(n=38, R=0.842, $e_s=3.11\text{mm}$, 図-7 参照)

いずれも高い相関性を示しており、推定精度の向上が認められ、品質評価式として実用できる。

4. まとめ

コンクリートの塩分浸透性および中性化の診断法として、ダブルチャンバー法による透気性・透水性試験は実用性があると判断される。さらに、複合法により推定精度は向上し、品質評価式として実用できると判断される。

参考文献

- 1) 彌永育代・豊福俊泰：透水性・透気性試験法によるコンクリートの塩分浸透深さの非破壊検査法に関する研究，平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，pp. 755～756，2013.3
- 2) 豊福俊泰・彌永育代・中山慎也・龍幸廣：ダブルチャンバー透気性試験法・透水性試験法・水分計法・反発度法・エコーチップ法によるかぶりコンクリートの品質診断法の開発，平成 25 年度土木学会西部支部技術発表会論文集，pp. 31～36，2013.11

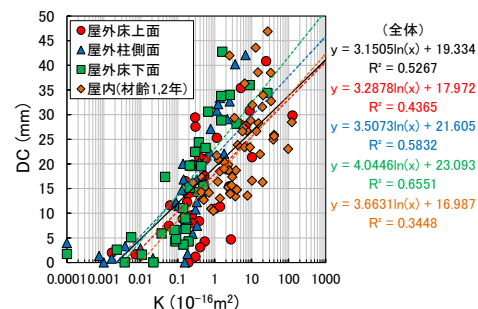


図-2 透気性指数と塩化物イオン浸透深さ

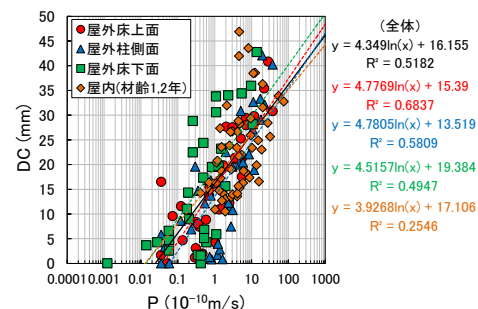


図-3 透水性指数と塩化物イオン浸透深さ

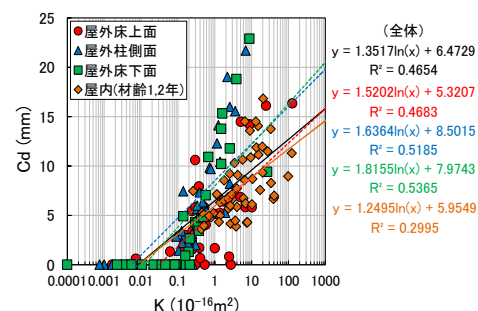


図-4 透気性指数と中性化深さ

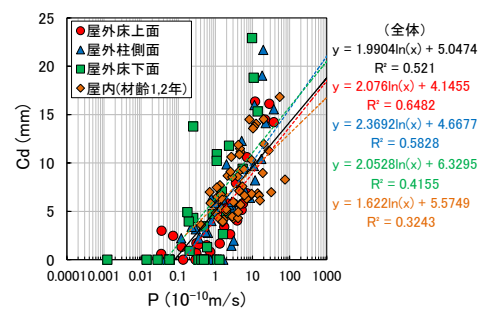


図-5 透水性指数と中性化深さ

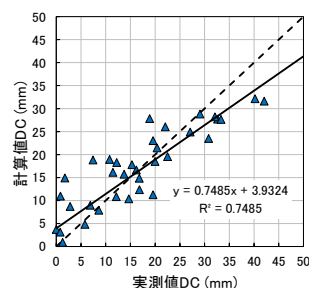


図-6 実測値と式(1)の計算値

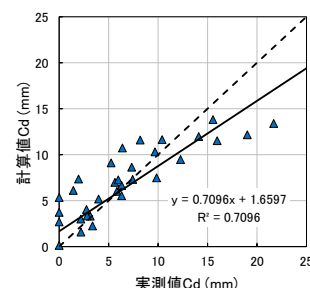


図-7 実測値と式(2)の計算値