

赤外線法を用いたコンクリートの物質拡散係数推測手法の開発に関する基礎的研究 — 中性化速度係数の推測 —

東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻

学生会員 ○小根澤 淳志

東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター 正会員

加藤 佳孝

東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター フェロー会員

魚本 健人

1. はじめに

著者らはこれまで、コンクリート中における物質拡散現象に着目し、熱と塩化物イオンや CO_2 の拡散の関連性を定量評価することで、赤外線法による物質拡散係数（以下、拡散係数）の定量的推測手法の開発を行ってきた。これまでの研究では、限定された範囲内であれば、ある程度の精度で拡散係数を推測することができるが、その精度は必ずしも高くなかった。そこで適用範囲の検討を行う目的で、普通ポルトランドセメント（以下 OPC）について s/a を変化させた場合について検討を行った。本研究の範囲内では、(1) 細骨材-セメント体積比が 3.7 以下の場合には、中性化速度係数と熱拡散特性を表す温度パラメーターの間には、塩化物イオン実行拡散係数と温度パラメーターとの $R^2=0.9157$ の相関には劣るが、 $R^2=0.8238$ の高い相関がある。(2) 既存構造物の殆どは本研究の配合より単位水量が大きいいため、実験室レベルではあるが、本手法の適用可能性が高いことが考えられることがわかった。

2. 使用材料と配合および供試体概要

セメントは OPC を使用した。骨材は、富士川産細骨材および両神産粗骨材を使用した。配合はペースト量を体積割合で 25% 一定（以下 $V_p=25\%$ ）とし、 W/C を 30, 40, 45, 50, 55, 60, 70% の 7 水準、 s/a を 35, 45, 55% の 3 水準の計 21 配合とした。供試体は、施工による品質のばらつきを防ぐために $560W \times 150D \times 200H(\text{mm})$ の角柱無筋コンクリートを作製し、2 週間の湿布養生後コアを 2 本採取し、中性化促進試験用供試体とした。残りの部分をコンクリートカッターで $200W \times 150D \times 200H(\text{mm})$ に切断し、熱拡散特性評価用供試体とした。その後 2 週間気中養生を行った。

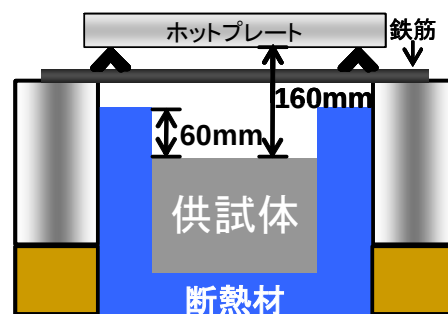


図-1 断熱概要図

3. 実験方法と結果

供試体の加熱・放熱面以外の 5 面を厚さ 100mm の断熱材で断熱を施し、温度コントロールのできるホットプレート（以下プレート）を用い、加熱温度 250°C で室温約 20°C の実験室で 1 時間加熱した。その後、1 時間放熱する過程のコンクリート表面温度を赤外線カメラにて測定した。プレートおよび断熱材の位置は、供試体表面の凹凸および断熱材からの熱伝導による加熱ムラを防ぐために図-1 の様に断熱材先端が供試体表面から 60mm の高さになるように設定した。また、供試体表面-プレート間の距離はこれまでの研究結果より 160mm とした。

4. 実験結果

図-2 に CO_2 拡散に関する全ての実験結果を示す。これによると、熱拡散特性を表す温度パラメーターと中性化速度係数にはある程度の相関が見られる。しかし、高精度の推測を行うためには適用範囲の再検討が必要であると考えられる。

5. 適用範囲の検討

そこで、適用範囲の検討を行った。図-2 中の $s/a=55\%$ に着目する。これまで表-1 に示すように、コンクリート体積の大部分を占める骨材中で熱拡散率が最も高い粗骨材の量がコンクリートの熱拡散特性の支配要因であると考えきたが、 $V_p=25\%$ シリーズ中で粗骨材量が最も少ない $s/a=55\%$ の温度パラメーターが他の s/a と比較して小さな値を示して

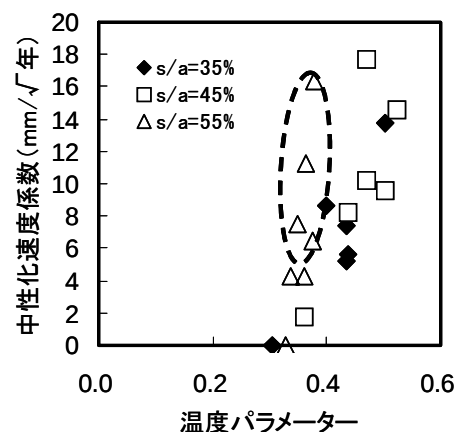


図-2 実験結果

キーワード 非破壊検査, 赤外線法, 中性化速度係数

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒 4-6-1 東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター
加藤研究室 TEL 03-5452-6472

いる。このことは、 $s/a=55\%$ の熱拡散特性が最も大きいことを示している。つまり、細骨材の量が熱拡散特性の支配要因であると考えられる。また、このことはコンクリート全体の熱物性値は、コンクリートの構成材料の個々の熱物性値を体積比で重み付けして平均化したものに等しい（以下、熱物性の加算則）、という事実と反する。そこで、 s/a に着目するのではなく、モルタル中の細骨材-セメント体積比（ V_s/V_c ）に着目した（図-3）。図-2中の $s/a=55\%$ の $W/C=45\sim70\%$ （丸囲い）の部分に着目すると V_s/V_c が3.7以上になっていることがわかる。そこで、 V_s/V_c が3.7以下の配合について図-4に中性化速度係数と温度パラメーターの関係を示す。これによると、両者には $R^2=0.8238$ の良好な相関関係が見られる。

モルタル部分を考えて、通常細骨材界面には遷移帯が存在し、細骨材量が多くなると遷移帯同士が連結することで、特急経路が形成され、物質拡散速度が増大と言われている¹⁾。本研究においても、図-2中の丸囲いの部分において、中性化速度係数は材料の空間的配置の影響、つまり経路依存性を反映していることがわかる。しかし、熱拡散を考えると、 V_s/V_c が高くなった場合、図-2中の丸囲いの部分において、温度パラメーターはほぼ同一の値を示していることから、材料の空間的配置の違いの影響を捉えられなくなっているものと考えられる。このことから、熱拡散は材料の体積割合の影響が支配的であり、ある閾値を越えると熱物性の加算則に従わなくなることがわかる。しかし、その閾値までは、熱拡散と物質拡散は高い相関を示していることがわかる。本研究結果においては、熱が材料の空間的配置の違いの影響を捉えられなくなってくるのは $V_s/V_c=3.7$ 以上の時であると考えられる。このことから、細骨材量が多い配合においては熱拡散特性から塩化物イオン拡散特性を推測することは難しいが、コンクリート標準示方書における単位水量や W/C の変遷について記載された文献²⁾によると、既存コンクリート構造物の殆どは、スランプ10cm程度で単位水量が $170\sim195\text{kg/m}^3$ であり、 W/C も $45\sim65\%$ であることを考えると、その殆どは $V_s/V_c<3.7$ であることが考えられる。

コンクリートの熱拡散特性には、ひび割れ、内部空隙等が影響するため、直ちに実構造物に適用できるとは言い難いが、実験室レベルにおいては本手法の適用可能性が高いと考えられる。

5. まとめ

本研究の範囲内では以下の知見が得られた。

- 1) 今後さらなる検討が必要ではあるが、塩化物イオン拡散係数の推測においては、ポルトランドセメントを使用する場合は、その種類や骨材産地の影響は受けないと考えられる。
- 2) 細骨材-セメント体積比が3.7以下の場合には、中性化速度係数と熱拡散特性を表す温度パラメーターとの間には $R^2=0.8238$ の高い相関がある。
- 3) 既存構造物の殆どは本研究の配合より単位水量が大きいため、実験室レベルではあるが、本手法の適用可能性が高いことが考えられる。

参考文献

- 1) 加藤佳孝：遷移帯がコンクリートの物質異動現象に及ぼす影響，東京大学学位論文，1999
- 2) 魚本健人：コンクリート診断学入門，朝倉書店，2004

表-1 骨材熱物性

	密度(kg/m^3)	比熱($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$)	熱伝導率($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	熱拡散率(m^2/h)
細骨材	2630	1.15	0.30	$9.90\text{E-}05$
粗骨材 砂岩	2700	0.72	1.63	$8.38\text{E-}04$

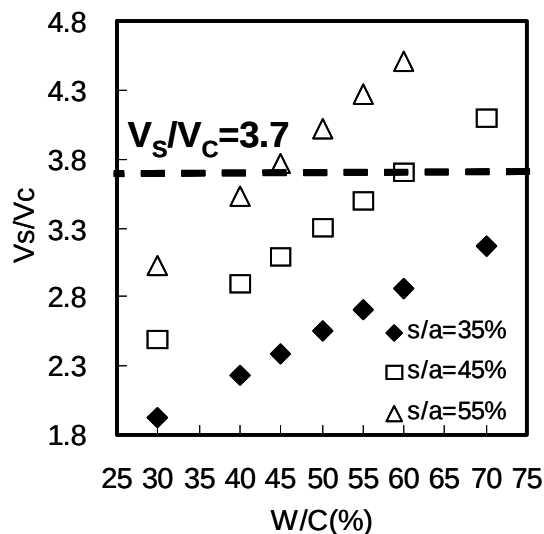


図-3 モルタルの V_s/V_c

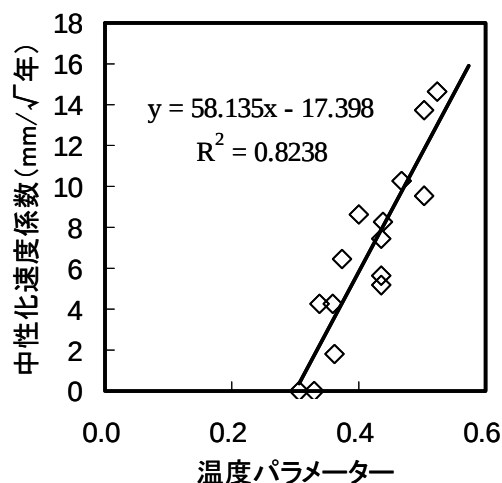


図-4 中性化速度係数と温度パラメーターの関係