

赤外線法を用いたコンクリートの物質移動抵抗性の評価に関する基礎的研究

芝浦工業大学大学院 学生会員○小根澤淳志
 東京大学生産技術研究所 正会員 加藤佳孝
 芝浦工業大学土木工学科 正会員 矢島哲司
 東京大学生産技術研究所 F 会員 魚本健人

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理が困難である要因に、部材内で生じる材料分布の不均一性や、選定された配合通りに施工されているか否かの判断を定量的に行うことができないことがあげられる。そこで本研究では、コンクリート中の熱移動に着目し、赤外線法により、施工後のコンクリートの品質を把握する手法を開発することを目的とした。また、適切な維持管理を行っていくためには、精度の高い劣化診断および劣化予測が必要となり、既設構造物の品質にかかわる情報、例えば塩化物イオンの拡散係数などを取得することができれば、容易に劣化予測が可能となる。本研究では、品質にかかわる情報の一つとして、塩化物イオン（以下 Cl^- ）の移動をとりあげ、塩分浸漬試験によりその特性の把握を行った。最終的に、熱移動特性から Cl^- 拡散係数を予測することができるかについても検討を行った。

2. 配合および供試体概要

本研究では材料分布の不均一性の要因として、水セメント比（以下 W/C ）の変化に着目した。配合を表-1に示す。供試体は $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}$ の直方体とし、30 測点の熱電対を配置した（図-1）。

3. 熱特性値の検討¹⁾

施工後のコンクリートの品質の違いが熱移動特性に与える影響について、解析および実験的に検討するために必要な熱特性値として熱伝導率、熱拡散率、熱伝達率の測定を行った。試験実施前の供試体は 20°C 、50%RH の恒温恒湿槽で管理し含水率を一定に保った。熱特性値の測定結果を表-2に示す。

4. 赤外線法による品質評価

4.1 解析による測定条件の検討

赤外線法を用いてコンクリートの品質の違いを検出するための条件を、3.で求めた熱特性値を用いて熱伝導解析を行うことにより検討した。解析の条件は、加熱時間をパラメータとし、それぞれの放熱過程をシミュレートした。検討の結果、 80°C で3時間加熱し、その後放熱する場合に W/C の変化について明確な温度差を検出することができた（図-2）。しかし、加熱時間が現実的ではなく、供試体の初期温度等が変化した場合に適用が難しくなると考えられる。そこで、加熱温度および加熱時間を様々に変化させた場合にも品質の違いを検出できるような、温度差に依存しない指標を検討した。

4.2 品質評価方法の提案

まず、赤外線手法を用いるときに取得しうる情報としては、初期表面温度 T_0 、加熱後表面温度 T_H 、放熱時表面温度 T_i 、加熱時間 t_H 、放熱時間 t_i が考えられる。これらを利用して熱エネルギーの流入量と流出量の関係を簡略的に表現する方法を検討した。

表-1 配合

(%)		単位量(kg/m^3)			
W/C	s/a	W	C	S	G
35	42	172	477	715	955
40	43	172	430	739	955
50	45	179	359	789	955

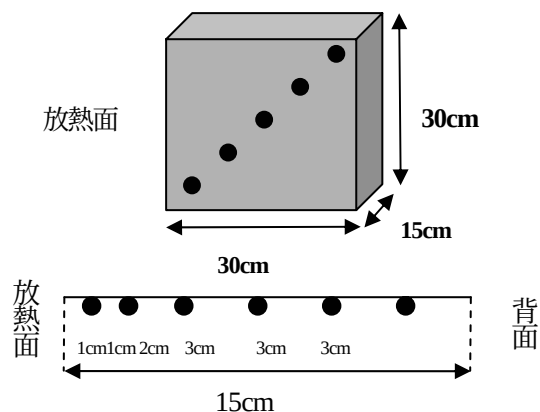


図-1 供試体ならびに熱電対配置図

表-2 熱特性値

W/C (%)	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	熱拡散率 (m^2/h)	比熱 ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	熱伝達率 ($\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)
35	1.60	0.0041	590.28	2380	13.93
40	1.40	0.0038	562.00	2360	15.35
50	1.34	0.0037	557.17	2340	16.69

キーワード：赤外線法、非破壊検査、コンクリートの品質

連絡先：〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL03-5452-6655

熱伝導解析により、80℃で1時間、1.5時間、3時間加熱し、その後放熱させた場合の表面温度の経時変化を求めた。それぞれの結果を用いて放熱時間 t_i と加熱時間 t_H の比 (t_i/t_H)（放熱時間比）と放熱温度 ($T_H - T_i$) と上昇温度 ($T_H - T_0$) の比（放熱温度比）の関係の一例を表したものが図-3である。これにより、加熱時間によらず、両者の関係はほぼ一定になることがわかる。そこで、W/Cごとに各加熱時間で得られた結果を平均化したものを図-4に示す。図から明らかなように、W/Cごとに放熱時間比と放熱温度比の関係は異なる関係を示していることがわかる。つまり、両者の関係を用いることで赤外線法により取得した情報のみで W/C の違いを予測することが可能であると考えられる。

図-4の解析結果を用いて、図-5は $t_i/t_H = 0.5$ における $(T_H - T_i)/(T_H - T_0)$ と W/C の関係を示したものである。図-5には、実験より得られた $(T_H - T_i)/(T_H - T_0)$ をあわせてプロットしてある。W/C=50%では実験結果との差がみられるが、W/C=35%と W/C=40%においては実験結果とほぼ一致している。実験結果と解析結果に差異が表れたのは、実験においては断熱が完全ではなかったことに起因すると考えられる。そのため、熱伝達率の最も高い W/C=50%において解析よりも温度下降が早くなったと考えられる。しかしながら、図-5より W/C をある程度推定できることがわかる。

4.3 拡散係数の予測

図-6は $t_i/t_H = 0.5$ における $(T_H - T_i)/(T_H - T_0)$ と Cl^- 拡散係数の関係を示したものである。図より、放熱温度比と Cl^- 拡散係数には式(1)の関係があり、この式より赤外線法にて得られたコンクリートの熱特性値から Cl^- 拡散係数の予測が可能であると考えられる。

$$D = 35.5(T_H - T_i)/(T_H - T_0) - 19.1 \quad (1)$$

5. まとめ

- (1) コンクリートの W/C の違いは表面温度の違いとして検出することができる可能性がある。
- (2) 加熱温度および加熱時間を様々に変化させた場合においても、放熱時間比と放熱温度比の関係より W/C の違いを検出できる可能性がある。
- (3) 赤外線法にて得られたコンクリートの熱特性値から Cl^- 拡散係数の予測が可能であると考えられる。

謝辞

本研究を実施するに当たり、東京大学生産技術研究所魚本研究室の皆様には多大なご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。なお、本研究は平成14年度産業技術研究助成事業（研究代表者：加藤佳孝）の一部として行ったものである。

参考文献

- 1) 小根澤・加藤ら：赤外線法を用いたコンクリート部材内の材料分布評価に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、2003（投稿中）

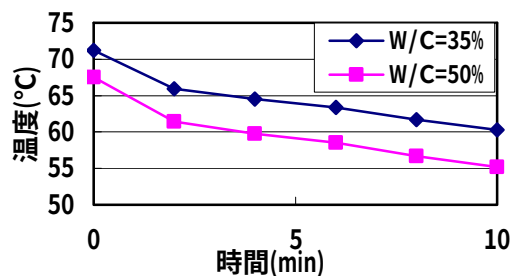


図-2 解析結果

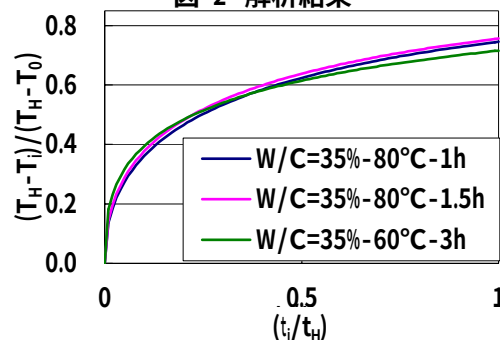


図-3 放熱時間比と放熱温度比の関係 (W/C=35%)

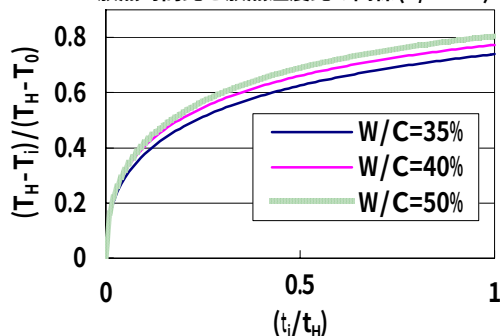


図-4 放熱時間比と放熱温度比の関係

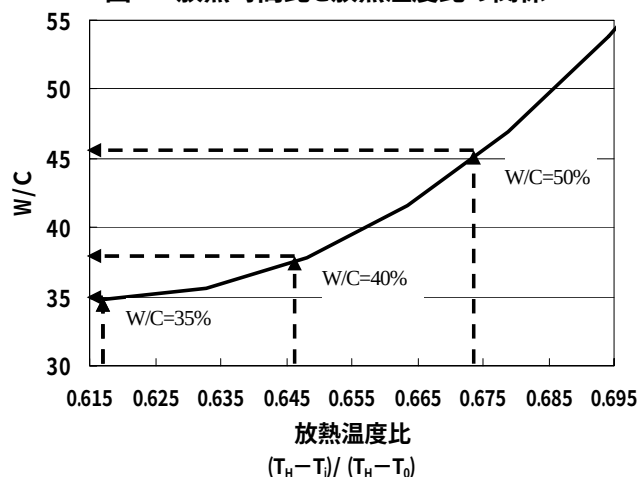


図-5 放熱温度比と W/C の関係

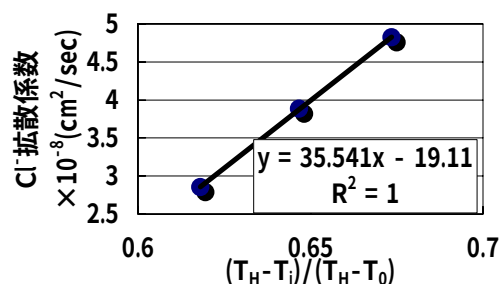


図-6 Cl^- 拡散係数と放熱温度比の関係