

# コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の 品質評価に関する研究 (3)

—赤外線法を用いたコンクリート構造物のひび割れ角度推定に関する解析的検討—

Evaluating the Quality of Existing Concrete structure Based on the Heat Transfer Property of Concrete (3)

—Analytical Study on Prediction of Crack Angle in Concrete structure by using the infrared thermograph—

小根澤 淳志\*・加藤 佳孝\*\*

Atsushi ONEZAWA and Yoshitaka KATO

## 1. はじめに

1999年に発生した山陽新幹線のトンネルライニング剥落事故を契機として、目視ではなくより高度な非破壊検査や劣化診断が必要とされるようになった。このためメンテナンスに要するコンクリート技術者の養成が不可欠であるが、少子高齢化の時代を考えると、少数の技術者でも対応可能な効率の良い機械化、システム化が必要となる。

非破壊検査によるひび割れ検知の手法としては、デジタルカメラを用いたものや赤外線法を用いたものがある。デジタルカメラは0.2 mm以上のひび割れであれば、その位置を正確に計測することができる。しかし、この手法では表面の情報しか入手することはできない。赤外線法の長所としては、非接触で計測ができること、また一度に大断面を計測できること、表面の情報だけでなくやや内部の情報まで入手することができる点が挙げられる。

そこで、本研究では赤外線法を用いてひび割れの位置およびひび割れ角度を計測することができるかに関して解析的に検討することを目的とした。

## 2. 解析の概要

### 2.1 解析モデル

解析は有限要素法による2次元の熱伝導解析とし、モデルの寸法はW 300×H 100 (mm)とした。ひび割れ幅は土木学会「コンクリート標準示方書」<sup>1)</sup>の許容ひび割れ幅である0.2 mmのものと、実際の試験体作成を想定した1 mmのもの2パターンとした。ひび割れ角度に関しては高羅らの研究<sup>2)</sup>を参考に15°、30°、45°、60°、90°の5パターンとした。また、ひび割れの長さは一定として検討した。モデルの一例を図1に示す。

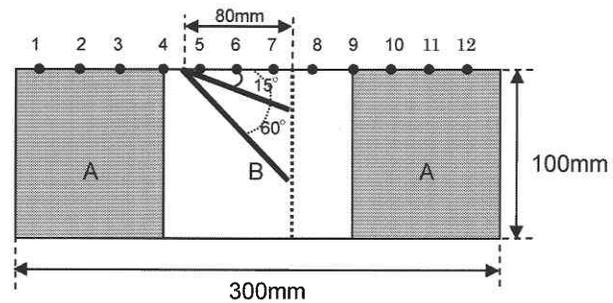


図1 解析モデル

表1 配合

(%)		単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
W/C	s/a	W	C	S	G
35	42	172	477	715	955

表2 熱物性質

W/C (%)	熱伝導率 (W/m·K)	熱拡散率 (m <sup>2</sup> /h)	比熱 (J/kg°C)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	熱伝達率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))
35	1.60	0.0041	590.28	2380	13.93

### 2.2 配合と物性

解析に用いるコンクリートの配合はW/C = 35%とし、熱伝導率、熱拡散率、熱伝達率、密度といった熱物性値は既往の研究<sup>3)</sup>において測定したものをを用いた。表1に配合を、表2に熱物性値を示す。

### 2.3 境界条件

境界条件は、放熱面を除く5面を断熱とし、温度コントローラーで温度制御されたホットプレートを用いて80°Cにて3時間加熱し、その後3時間放熱するものとした。

### 2.4 計測位置

表面温度の計測位置は図1に示すような12点とした。また、図中のA部を健全部、B部をひび割れ部と呼ぶことにする。

\*芝浦工業大学大学院

\*\*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

### 3. 解析結果

#### 3.1 表面温度の解析結果

表面温度変化の解析結果の一例を図2, 図3に示す. 図2はひび割れ幅1mm, ひび割れ角度15°の場合であり, 図3はひび割れ幅1mm, ひび割れ角度60°の場合である. ここで normal とはひび割れのないモデルでの解析結果である.

放熱開始以降に着目すると, ひび割れ部の表面温度が健全部と比較して急激に低下し, 健全部よりも低い温度で推移することがわかる. また, ひび割れ角度が大きい60°の方が15°のものよりも表面温度の低下が小さいことがわかる. ひび割れ部分の空気層が断熱層となり, 表面からひび割れ部までのコンクリート (以降蓄熱層と呼ぶ) に熱が蓄えられる. ひび割れ角度が小さいと表面からひび割れまでの距離が近くなるために蓄熱層が小さくなる. そのため短時間で熱が放出されると考えられる. ひび割れ角度が大きいほど蓄熱層は大きくなるので熱の放出に時間がかかるため, ひび割れ角度が小さいものと比べて表面温度低下が緩やかであると考えられる.

以上のことより, 表面温度を測定することでひび割れ位置およびひび割れ角度を推定することができるのではないかと考えられる.

#### 3.2 放熱時間比-放熱温度比

ここで既往の論文<sup>4)</sup>で提案した放熱時間比-放熱温度比の関係を適用する. 放熱時間比とは放熱時間 $t_f$ と加熱時間 $t_H$ の比 ( $t_f/t_H$ ) であり, 放熱温度比とは放熱温度 ( $T_H - T_f$ ) と上昇温度 ( $T_H - T_0$ ) の比である. ここに, 初期表面温度  $T_0$ , 加熱後表面温度  $T_H$ , 放熱時表面温度  $T_f$ , 加熱時間  $t_H$ , 放熱時間  $t_f$  である.

図4~図8にひび割れ幅0.2mmの結果を, 図9~図13にひび割れ幅1mmの結果を示す.

放熱温度比が健全部 (図1中1~4, 9~12) よりも高くなっている部分がひび割れの位置ということになる. また, 図によると, 放熱温度比の最大値 (図1中5) と最小値 (図1中4) の差はひび割れ角度が大きいほど小さくなることわかる. 放熱温度比にこのような差が生じるのは, 5では表面温度変化が最大になり, 4では表面温度変化が最小であることが原因であると考えられる. これは, ひび割れ下部は空気層の影響により周辺より温度が低く, 4からひび割れ下部に向かって他の部分よりも急激な温度勾配が生じるため4に与えられた熱はひび割れ下部に流れてしまい, 表面温度が他の部分よりも上がらない. また, ひび割れ下部の温度のピークは放熱開始からしばらくたって訪れることから, 4からの熱流は継続されるものと考えられ

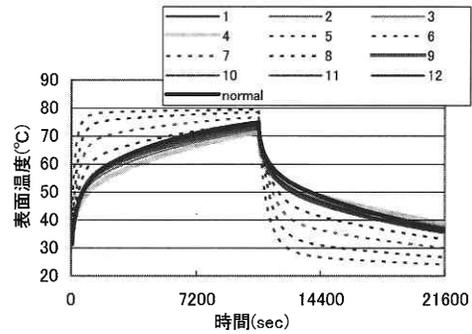


図2 ひび割れ幅1mm, ひび割れ角度15°

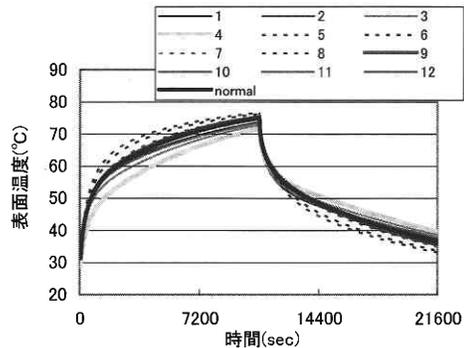


図3 ひび割れ幅1mm, ひび割れ角度60°

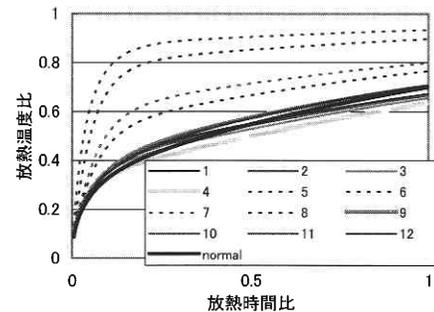


図4 ひび割れ幅0.2mm, ひび割れ角度15°

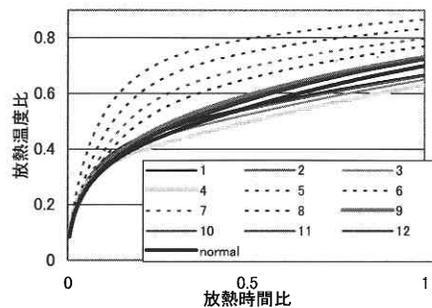


図5 ひび割れ幅0.2mm, ひび割れ角度30°

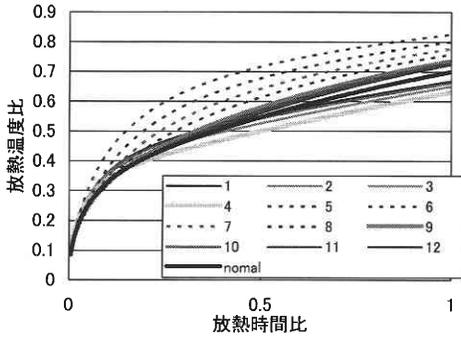


図6 ひび割れ幅0.2 mm, ひび割れ角度45°

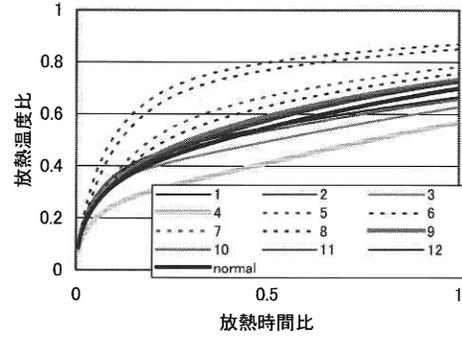


図10 ひび割れ幅1 mm, ひび割れ角度30°

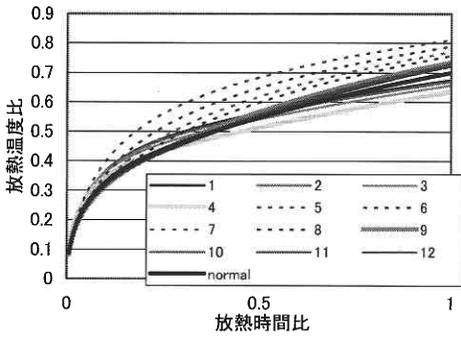


図7 ひび割れ幅0.2 mm, ひび割れ角度60°

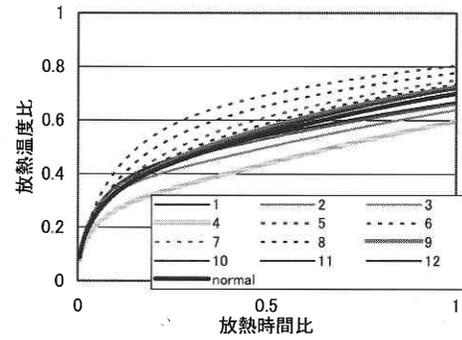


図11 ひび割れ幅1 mm, ひび割れ角度45°

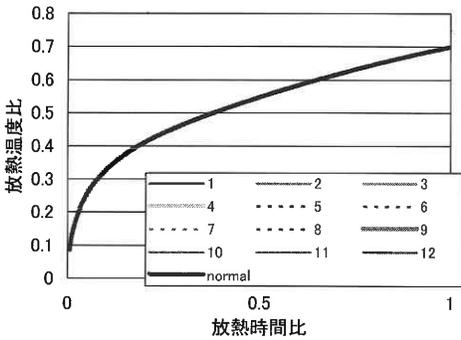


図8 ひび割れ幅0.2 mm, ひび割れ角度90°

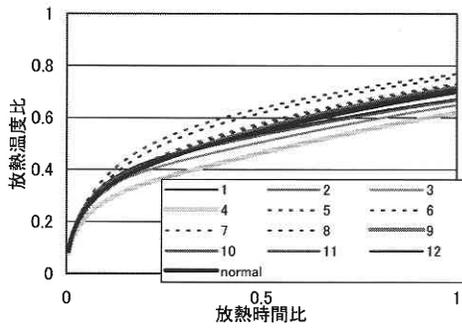


図12 ひび割れ幅1 mm, ひび割れ角度60°

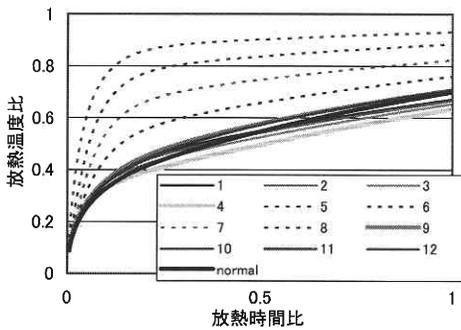


図9 ひび割れ幅1 mm, ひび割れ角度15°

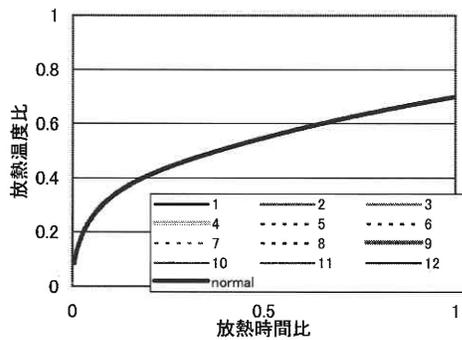


図13 ひび割れ幅1 mm, ひび割れ角度90°

研 究 速 報

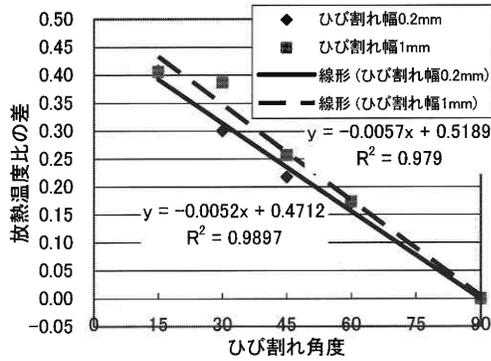


図 14 放熱温度比の差

る。そのため、4 から外部への放熱は少なくなり、結果として放熱過程において 4 が最も高い温度で推移すると考えられる。

このことを踏まえて、放熱温度比 = 0.5 の時の最大放熱温度比と最小放熱温度比の差をとったものが図 14 である。これによると、ひび割れ幅の違いは現れるものの、僅差であること、またひび割れ幅 1 mm のものにおいては 15° ~ 45° の間に特異性が見られることから、ひび割れ幅の相違を検知することは難しいと考えられる。しかし、あらかじめ解析によりこの直線を求めておくことで、放熱温度比の差を算出することにより、ひび割れ角度についてはある程度推定できると考えられる。

4. ま と め

1) コンクリートの表面温度の違いから、ひび割れの位置

を予測できると考えられる。

- 2) ひび割れ角度の増加にしたがい、放熱時のある特定の時刻におけるコンクリートの表面温度の最大値と最小値の差は減少することから、ひび割れ角度を推定できると考えられる。
- 3) ある特定の放熱時間比の時の放熱温度比を算出することでひび割れ角度を予測できると考えられる。
- 4) ひび割れ幅の違いは放熱温度比の差にほとんど影響しないことが分かった。

謝 辞

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り、ここに記して感謝の意を表す。

(2003 年 9 月 9 日受理)

参 考 文 献

- 1) 2002 年制定コンクリート標準示法書 [構造性能照査編], 土木学会
- 2) 例えば, 高羅ら, 温度解析に基づいたサーモグラフィー法によるコンクリート中の空隙および斜めひび割れの検査方法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, vol. 23, No1, 2002
- 3) 加藤佳孝・小根澤淳志: コンクリートの熱特性を活用した既設構造物の品質評価に関する研究 (1), 生産研究, vol. 55, No. 2, 2003
- 4) 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, vol. 25, No1, 2003