

V-601

赤外線法によるコンクリート表面のひび割れ評価

立命館大学院 学生会員 高木 政道
立命館大学 正会員 尼崎 省二

1. はじめに

赤外線法はコンクリートを診断する方法の中で客観性、安全性、記録性、解析性に優れている。コンクリート表面に温度変化が生じると、健全部とひび割れ部の温度変化に差が生じると考えられる。本研究では、健全部とひび割れ部の温度差を赤外線法によって検出する最適撮影方法について実験的検討を行い、遠隔地からのコンクリート表面のひび割れ評価を行い、さらに、ひび割れ部の温度変化について二次元非定常熱伝導解析を行なったものである。

2. 実験概要

実験には、150mm x 240mm x 2000mmのRC梁を使用し、コンクリートの配合は表1とした。この梁に2点集中荷重によりひび割れを発生させた後、2本の梁を一組としてひび割れを再現した供試体（図1）を作製した。

赤外線カメラは供試体から法線方向5mの距離に設置し、視野角を20°に設定（解像度0.38mm）して、供試体の上側梁の中央部180cmを撮影した。また、本研究で使用した赤外線サーモグラフィーの仕様は表2に示す通りである。

（1）最適撮影方法の検討 表面温度変化の撮影に最適な方法を調べるため、供試体の温度、撮影場所、撮影過程を変化させて撮影した。供試体の温度変化は、日射または遠赤外線ヒータによる温度上昇、雲あるいは遮蔽板による日射の遮蔽、遠赤外線ヒータの停止による温度低下によった。遮蔽板は、自然に曇るのを待たずに日射をなくし、温度低下を人為的に作りだすことを目的とした。また、撮影場所は室内と室外、撮影過程は温度上昇時と温度低下時とした。使用した梁は、5m離れた位置からは目視できないひび割れ幅0.1~0.4mmの梁を用いた。温度変化を定量的に評価するため、温度上昇（低下）開始時とその後15分間隔で1時間にわたって撮影した画像との温度差画像（以下、差画像）で行なった。なお撮影時、供試体表面は乾燥状態であり、赤外線の伝播媒体となる空気の状態は室内で無風、室外ではできるだけ微風程度の時の撮影を条件とした。

（2）撮影時間間隔の検討 温度変化を与えてから何分後に撮影した画像を用い差画像を作成すれば、ひび割れ評価に適するか実験的検討を行なった。また、赤外線法によって健全部とひび割れ部の温度推移を1分毎に測定した。測定点は引張線から5cmの位置に設置、健全部はひび割れ部から水平方向2cmの位置とした。測定結果を図2に示す。温度上昇開始から18分、この後大きな温度変化はないものと判断し、遮蔽板設置により温度低下過程を作った。

（3）ひび割れ状況が評価に与える影響についての検討 ひび割れ幅、ひび割れ間隔を適宜変えた6本の梁（表3）を撮影し、ひび割れ状況が異なる

表1 示方配合

Air (%)	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	C	S	G
4±1	55	171	269	802	1062

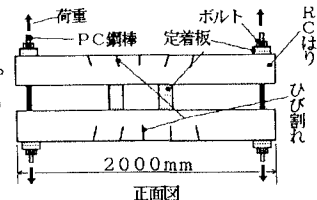


図1 供試体の組立て図

表2 赤外線サーモグラフィーの仕様

赤外線検知器	水銀・カドニウム・テルル液体窒素冷却型	
応答波長	8.0~13.0 μm	測定温度範囲
感度 (読み値)	30°Cで0.05℃	装置動作範囲
温度指示誤差	指示値の1%または0.5℃のいずれか大きい値 (1℃以下 0~160℃の範囲)	表示画素数
		視野角
		焦点範囲

※ (H)は水平方向、(V)は垂直方向

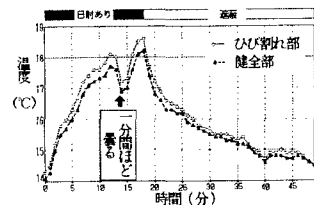


図2 健全部・ひび割れ部の温度推移

表3 ひび割れ幅及び間隔

供試体 番号	ひび割れ 幅(mm)	ひび割れ 間隔(cm)
①	0.16	27.2
②	0.12	17.9
③	0.52	23.3
④	0.16	22.0
⑤	0.07	11.5
⑥	0.22	15.3

梁の差画像を作成した。以上の実験は11月から1月、室外での実験は12時～14時に行った。

3：実験結果および考察

撮影方法の違いによるひび割れ評価の可否を表4に示す。評価の可否は、差画像の表示温度幅を1.0～2.0mmに設定した際、梁表面に温度差が大となる箇所の分布具合によって判断した。したがって暖められたコンクリート表面の日射遮蔽による温度低下過程を撮影する方法がひび割れ評価を適切に行なうことができる。なお、日射の遮蔽をする遮蔽板と曇りの2つを比べると、曇りを利用した方が、ひび割れ評価を良好に行なえる事が実験から明らかとなった。しかし、天候に左右されるので、最適撮影方法としては遮蔽板を用いた。

図3は最小自乗法により図2の日射遮蔽後の健全部とひび割れ部の温度変化を曲線近似した時の温度差の経時変化を示す。温度低下開始から25分後以降は、温度差に大きな変化がないことが分かる。また、ひび割れ評価に最適な差画像は、温度低下開始から15～30分後に撮影した画像を用いた差画像であった。したがって、最適撮影時間間隔は温度低下開始後15～30分であると考えられる。

図4は、このようにして得られた差画像の一例である。差画像とひび割れ分布図では、ひび割れ発生箇所が良く対応していることが分かる。また、ひび割れ幅（0.07～0.52mm）、ひび割れ間隔（11.5～27.2cm）を変化させた6本の梁の差画像から、ひび割れ幅、ひび割れ間隔が変化してもひび割れ発生は評価できることを確認している。

4：2次元非定常熱伝導解析および解析結果

図2のひび割れ部と健全部の温度変化を検証するため、有限差分法による2次元非定常熱伝導解析を行なった。解析は図5の解析モデルを表5に挙げる解析諸条件のもとで行なった。実測の健全部・ひび割れ部の温度推移（図2）と同じ測定位置における健全部・ひび割れ部の解析結果の温度推移を図6に示す。

実測温度推移と解析温度推移の挙動が異なるのは、撮影時の単位画素幅が1.45mm、ひび割れ幅が0.2 mmであり、単位画素幅に占めるコンクリート部の比が0.86となることから、ひび割れ部から大気への熱流速を健全部から大気への熱流速の1.16倍とし、逆にひび割れ部の対流熱伝達を健全部の対流熱伝達の0.86倍したためであり、温度低下時の解析値が実測値より早く一定値になったと考えられる。今後、熱伝導解析におけるひび割れ部の熱流速および対流熱伝達の検討が必要である。

5：まとめ

本研究から差画像を作成することにより、5 mの距離から目視では観察できないひび割れによる影響が検出できることが分かった。

表4 撮影方法の違いによるひび割れ評価の可否

温度変化の与え方	撮影時刻	撮影場所	
		室内	室外
日射	温度上昇時	△	△
	温度低下時	×	○
ヒータ	温度上昇時	×	△
	温度低下時	×	×

○：良好
△：評価できるが注意が必要
×：不可
／：未測定

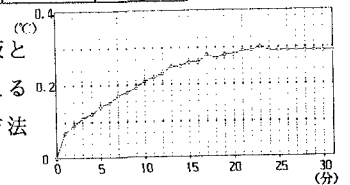


図3 健全部とひび

割れ部の温度差推移

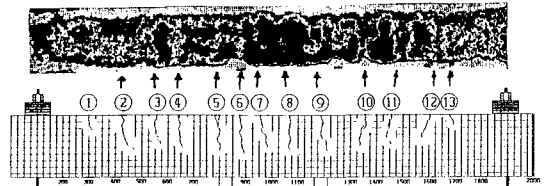


図4 差画像（上）とひび割れ分布図（下）

表5 解析の諸条件

	温度上昇過程	温度低下過程
外気温(°C)	18.5	14.5
日射量(W/m^2)	2203	—
熱伝達率($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	—	2.5
日射吸収率	—	0.7
熱伝導率($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	—	2.8
比熱($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)	—	1130
密度(kg/m^3)	—	2300

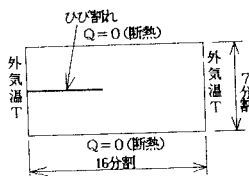


図5 解析モデル

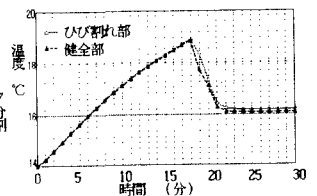


図6 健全部・ひび割れ部の温度推移(解析値)