

コンクリートのひび割れ深さの推定方法に関する実験的検討

関東学院大学大学院工学研究科土木工学専攻 学生会員 工学士 ○高橋 正亨
 関東学院大学工学部社会環境システム学科 正会員 工博 出雲 淳一

1. はじめに

高度成長期に建造されたコンクリート構造物は今後、補修・補強の対象になることが予想され、社会資本のストックを限られた予算で効率的に維持管理していくことが重要な課題となっている。¹⁾コンクリート構造物の点検で観察される変状の一つとして、ひび割れが挙げられ、コンクリートにひび割れが発生すると、コンクリートの剛性や強度が低下し、構造性能にも影響を及ぼす。

これまで著者は、コンクリート表面に観察されるひび割れから、コンクリート構造物の劣化状況を定量的に評価する手法について提案している。²⁾しかし、構造物の劣化状況を評価するには、ひび割れ深さについても考慮する必要性が考えられ、コンクリート表面からひび割れ深さを測定する方法についても検討を行うことにした。

本研究では、コンクリート表面を強制的に加熱することによって、コンクリート表面とひび割れ部に生じる温度差を赤外線サーモグラフィで測定することにより、ひび割れ深さを推定する手法を開発することを目的としている。また、昨年時に使用した供試体³⁾以外にも、ひび割れ幅・ひび割れ深さを変化させた供試体を製作して、積算温度とひび割れ深さを推定に関する手法を検討したのでここに報告する。

2. 実験方法

2.1 実験供試体

供試体は、昨年度製作した供試体 $200\text{mm} \times 100\text{mm} \times 1200\text{mm}$ ³⁾以外に、はり高が異なる、 $150\text{mm} \times 100\text{mm} \times 1200\text{mm}$ 、 $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 1200\text{mm}$ 、 $150\text{mm} \times 200\text{mm} \times 1200\text{mm}$ の3種類のRCはり新たに製作した。ひび割れを発生させるために、2000kN 万能試験機を用いて、2点載荷試験を行い、はり中央部に曲げひび割れを発生させるようにした(写真-1 参照)。赤外線サーモグラフィの測定の際、ひび割れ位置が確認できるように、はり下面の曲げモーメント一定区間に発生させた。ひび割れ幅の測定位置に $80\text{mm} \times 150\text{mm}$ の領域に 20mm 間隔でマーキングを施した。さらに、供試体側面や裏面に断熱材を取り付けて、コンクリート周辺温度の影響を極力受けないようにし、強制加熱をした際に断熱材が高熱のため融けることも考慮し、断熱材の上をダンボールで覆うことにした(図-1 参照)。



写真-1 2点曲げ載荷試験

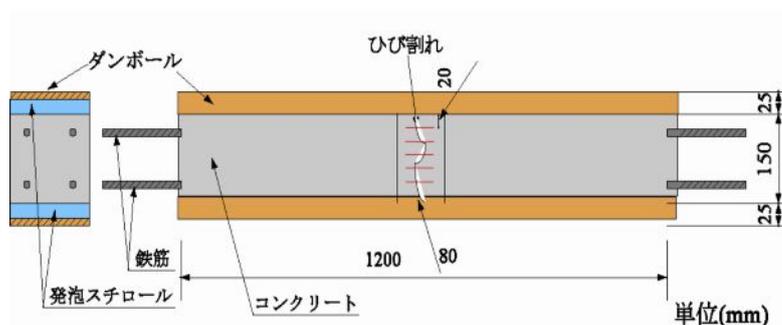


図-1 実験供試体および断熱材

2.2 測定方法

実験は、温度と湿度が管理することができる恒温室内で行い、赤外線カメラを三脚に固定し、コンクリート供試体の上から撮影を行った。ひび割れ測定箇所には、白熱球のサイズに切り抜いた発泡スチロールを設置して、10分間の加熱を行い、その後の温度変化を赤外線カメラで撮影した(写真-2 参照)。

使用した4種類のRC供試体の中からひび割れ幅とひび割れ深さが異なる14種類のひび割れを選ぶことにした。実験で用いたひび割れ幅およびひび割れ深さを表-1に示す。

加熱後、5分~10分間隔でコンクリート供試体付近の温度(°C)、湿度(%), 風速(m/s)を風速計で測定した。測定対象のひび割れ周辺縦100mm, 横100mmの範囲を赤外線カメラで撮影した。写真-3は、加熱直後の赤外線画像を示しており、ひび割れ部における温度変化を求めするために、赤外線画面上のひび割れ部に測定点を設定することにした。赤外線画面上のAの点がひび割れ部の測定点で以後、その位置での温度を「ひび割れ点温度」と呼ぶことにする。

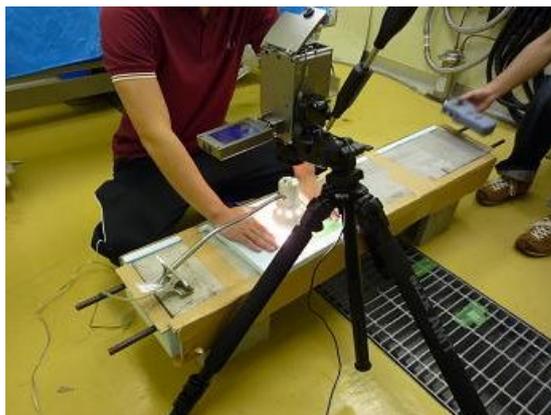


写真-2 実験状況

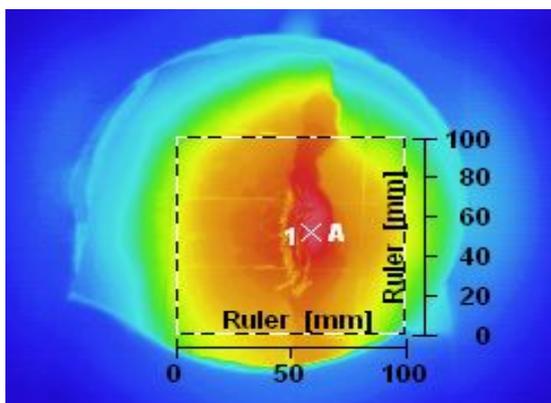


写真-3 赤外線画像

表-1 ひび割れ幅とひび割れ深さ

供試体の種類(mm)	b=200, h=100				b=150, h=200			b=150, h=150				b=150, h=100		
ひび割れNo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ひび割れ幅(mm)	0.5	0.8	0.3	0.1	1.1	0.9	1.2	0.8	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.3
ひび割れ深さ(mm)	85	100	70	20	176	162	160	115	103	95	107	79	82	55

3. 実験結果および考察

3.1 ひび割れ部分の温度変化

図-2は、コンクリート表面の平均温度、およびひび割れ点温度からそれぞれ恒温室の温度(25°C)を差し引いた温度の経時変化の1例を表している。温度測定領域内のコンクリート表面平均温度とひび割れ点温度は、時間の経過とともに一定温度(恒温室温度)に収束していく。

ひび割れ点での温度は、コンクリート表面の平均温度よりも高い傾向が認められる。これは、コンクリート供試体のひび割れ部分には、空気が存在して、温められた空気がコンクリートに比べて冷めにくいために、ひび割れ点温度はコンクリート表面の平均温度よりも高くなるものと考えられる。この温度差は、ひび割れ部分の空気の量が影響していると考えられ、ひび割れ幅と深さによって変わることが考えられる。

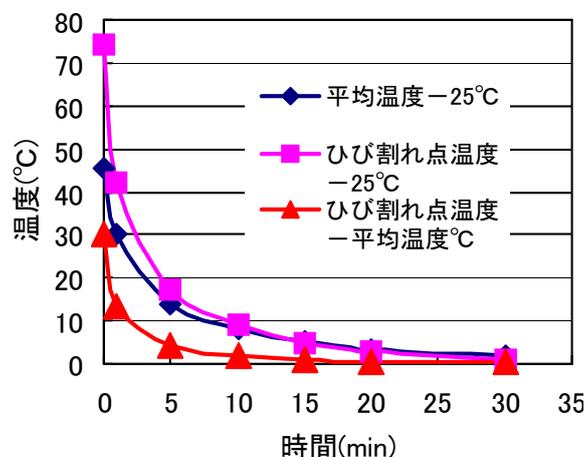


図-2 測定温度の時間的変化

3.2 積算温度とひび割れ深さとの関係

各実験において、温度差分(ひび割れ点温度-コンクリート表面温度の平均値)を時間で積分することによって求めた値を「積算温度」と呼ぶことにする。積算温度の時間的な変化の1例を図-3に示している。グラフから温度測定内の積算温度はひび割れ深さが深い順に、大きくなる傾向が認められる。ひび割れ深さが深い程、ひび割れ内部の空気量が多いと考えられ、積算温度も大きくなると推察されるが、ひび割れ深さが70mm, 85mm とでは、積算温度は逆転しており、表面で観察されるひび割れ深さと内部のひび割れ状況の違い、ひび割れ幅の測定誤差などが影響しているのではないかと考えられる。

加熱後、5分経過した時のひび割れ深さが20mmの場合の積算温度が31(°C・min)であったのに対して、ひび割れ深さが100mmの場合積算温度は、57(°C・min)であった。30分後には、ひび割れ深さが20mmの場合の積算温度が55(°C・min)であったのに対して、ひび割れ深さ100mmの場合には積算温度は89(°C・min)までに上昇し、およそ34(°C×min)の積算温度の差が生じていることが確認された。積算温度の差は、ひび割れ深さが影響するものと考えられ、積算温度からひび割れ深さが推測することができるのではないかと考えられる。

3.3 ひび割れ深さ・ひび割れ幅と積算温度との関係

各供試体の実験において、30分間経過した後の積算温度とひび割れ深さの関係を供試体ごとに図-4～図6に示している。

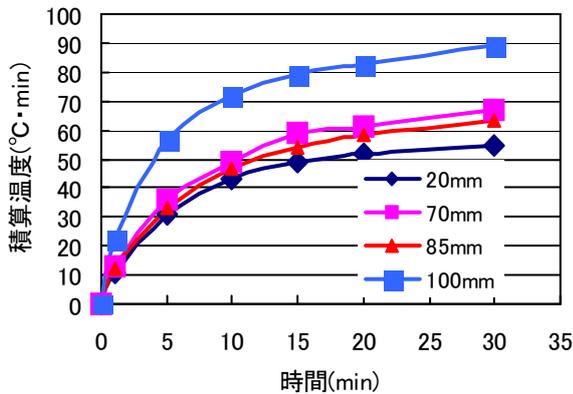


図-3 積算温度の経時変化

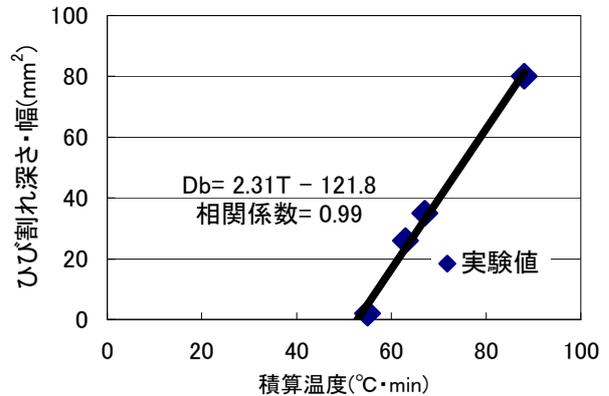


図-4 積算温度とひび割れ深さおよび幅の関係
(b=200mm, h=100mm の供試体)

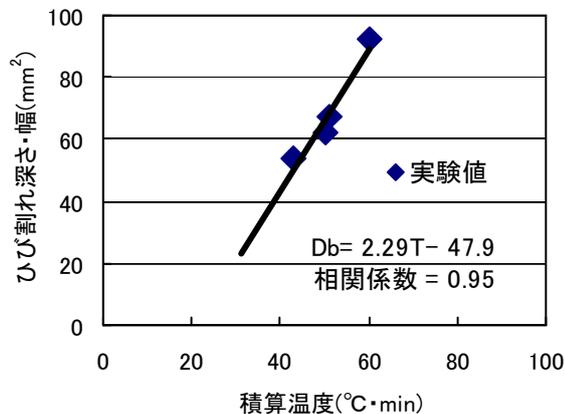


図-5 積算温度とひび割れ深さおよび幅の関係
(b=150mm, h=150mm の供試体)

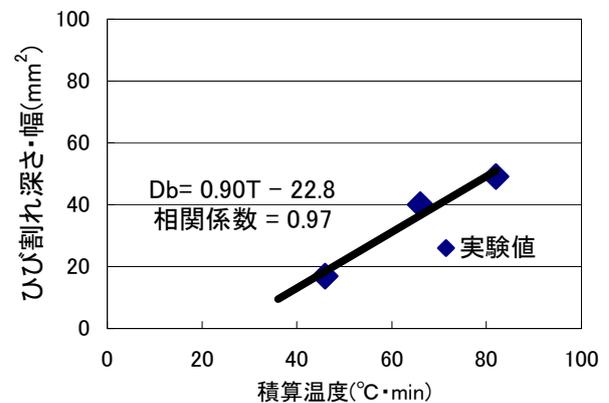


図-6 積算温度とひび割れ深さおよび幅の関係
(b=150mm, h=100mm の供試体)

縦軸には、ひび割れ深さとひび割れ幅を乗じた値、横軸には積算温度をとって実験結果をプロットしている。図中には、回帰直線および相関係数も示している。図-4～図6以外に10分後、15分後、20分後における積算温度とひび割れ深さの関係についても求めてみたが、30分間の積算温度とひび割れ深さの相関性が最も良い結果となったので、ひび割れ深さの推定には30分間の積算温度とひび割れ深さとの関係を用いて表すことにした。積算温度およびひび割れ深さとひび割れ幅とを乗じた値との間には、相関性が認められる。ひび割れを含む領域において積算温度を測定することにより、ひび割れ深さを予測できるのではないかと考えられるが、供試体が異なると回帰直線の傾向も変わる。

すなわち、実験結果からは、供試体の大きさの違いが、ひび割れ部を含むコンクリートの加熱・放熱に影響を及ぼしているのではないかと考えられる。

4. おわりに

今回の行った実験結果の範囲から、次のことが結論として得られた。積算温度とひび割れ深さとひび割れ幅を乗じた値との間に相関性が認められた。しかし、供試体の大きさによってその関係に相違が認められた。

今後は、実験結果に対して熱伝導解析を行い、実験パラメータの同定を行うとともに、解析からひび割れ深さを推定する方法について検討する予定である。

謝辞

本実験を行うに際して、関東学院大学大学院工学研究科土木専攻の川上清陸、関東学院大学工学部社会環境システム学科の長島慶太、関孝太、青木亨太、石橋洗人の協力を得ました。ここに深く感謝の意を表す次第であります。

参考文献

- 1) 魚本健人：維持管理時代とコンクリートの技術者教育特集：コンクリート維持・管理と最近の検査・診断技術，セメント・コンクリート，No. 656，pp. 1-5（2001）
- 2) 出雲淳一：ひび割れたコンクリートの定量的評価手法の開発と構造物への適用：セメント協会 No. 61，pp. 609-616，（2007）
- 3) 高橋正亨，出雲淳一：赤外線を利用したコンクリートのひび割れ深さの測定に関する基礎的研究：第17回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 209-216，（2008）