

パッシブソーラーを利用したサーモグラフィー法による コンクリート内部のひび割れ評価

日大生産工(院) 江藤 亮 日大生産工 柳内 睦人
中央工学校 金光 寿一

1. はじめに

道路橋の補修及び補強の目安となる損傷度の評価では、コンクリート内部に潜在している浮きや剥離(空洞・空隙)を、また、ひび割れの進展状況を確認することが重要となる。このような内部診断にサーモグラフィー法を採用する場合には、検出可能となる熱負荷条件が必要であり、現在、日射量及び外気温の変動を利用したパッシブ法と各種人為的な加熱や冷却を利用するアクティブ法から試みられている。しかし、これらはいずれも変状部下部に蓄積される熱量を期待するもので、測定面からの熱源では表面近傍部の変状は検出可能であっても、深く進行したひび割れなどの損傷部は熱拡散から評価できない可能性がある。これらの問題点を解決する熱源としては、道路橋のスラブでは測定面の反対側から供給されるアスファルト舗装時における舗設熱の利用を提案しているが、道路橋の高欄部や張出スラブなどでは適用することが困難である。

本研究では、舗装熱が利用できないこれらの部位に対する反対側からの熱源として太陽光での促進加熱を利用し、どの程度の熱量が供給され反対側へ熱伝達されるのかを実験的に検討するものである。特に、測定面を加熱及び冷却する従来のパッシブ法とは異なり、測定面の反対側から供給される熱伝達のレスポンス現象の相違を利用してコンクリート内部全体の損傷・劣化状態を評価するところに特徴がある。

2. 実験概要

太陽光の集熱効果を高める促進材料の選定は、太陽光を想定したハロゲンランプでの加熱実験と屋外での基礎実験及び RC 梁での実験を行いコンクリートの上昇温度から明らかにした。ソーラーハウスを想定した促進材料には、ガラスの代わりに軽量で施工性の高いエアークャップ、ビニールシート、凸型レンズシートを、またコンクリート表面には赤外線を完全に吸収する黒色で熱伝導率の大きいアルミ箔を密着させてコンクリート温度を確認した。

2.1 ハロゲンランプによる基礎実験

まず、促進材料の選定は屋外での放射熱や風など測定環境が及ぼす影響を少なくするために恒温恒湿室にてハロゲンランプ(800W/100V)を利用して促進効果の確認を行った。実験に用いた各促進材料及びその組み合わせを表-1 に示す。試験体は、幅 150×高さ 150×長さ 530mm で、TAA 試験体は黒色塗料を塗ったアルミ箔をコンクリート表面に密着させ半透明エアークャップで密封したもの、BA 試験体は半透明のエアークャップを黒色塗装したもの、TLA 試験体はレンズシート(レンズ直径 27mm, 焦点距離 16mm) を黒色アルミ箔より焦点距離分だけ離し周囲を幅 10mm の発泡スチロールで固定したもの、また TBA 試験体は半透明のビニールシートと黒色アルミ箔を合わせたもの、BB 試験体は半透明のビニールを黒色塗装したもの、さらに N 試験体は促進材料のない比較のための

EVALUATION OF CRACKS INSIDE CONCRETE BY THE THERMOGRAPHY METHOD USING
PASSIVE SOLAR HEAT

Ryou ETOU, Mutsuhito YANAI and Juichi KANAMITSU

標準試験体である。ハロゲンランプと試験体との距離は 500mmとして 60 分間加熱し、さらに加熱後 60 分間を熱電対 (T社製, 芯線構成: 0.64mm×2 本) でコンクリート表面温度(加熱面)の測定を行った(図-1 参照)。実験結果を図-2、表-2 に示す。各種促進材料による促進効果は、TAA試験体が促進材料の組み合わせとして最も吸熱及び温室効果が得られることが分かった。N試験体との比較では、加熱を停止した直後で 11.1 大きくなっている。BA試験体は、黒色のエアークャップで半透明のエアークャップと比較すると日射吸収率が高く、エアークャップ自体が反射することなく加熱され、コンクリート表面に対して放熱することになる。しかし、エアークャップは薄く、また、介在することになる空気層の熱移動は熱伝導、熱対流、熱放射で行われるものの熱伝導率も小さく(熱伝導率: $0.026W/(m^2 \cdot K)$)、熱容量も非常に小さいために逆にN試験体よりも上昇温度が低くなったものと考える。一方、TLA試験体は太陽光の集光力を期待するものであるが、N試験体と比較するとBA試験体と同様に上昇温度が小さい。N試験体より上昇温度が低くなった理由は、レンズシートのレンズ同士の距離が 27 mm離れていること、設置時の僅かな焦点距離のずれがスポット加熱を低減し最も熱の伝わりやすいアルミ箔においても広範囲にコンクリート表面を加熱できなかったものと考える。TBA試験体は、TAA試験体の次に促進効果が得られたもので、N試験体より 4.6 ほど大きくなっている。両者に共通していることは、促進材料が半透明であることと黒色アルミの併用である。このTAAとTBA試験体に生じた上昇温度の差は、エアークャップ及びビニールとアルミ箔との間に介在する空気層の対流が密着したエアークャップの隔壁によって熱損失を抑制させたものと考える。

表-1 実験要因

記号	促進材料	重量(g/m ²)
TAA	半透明エアークャップ+黒色アルミ	92.9
BA	黒色エアークャップ	61.3
TLA	半透明レンズシート+黒色アルミ	448.9
TBA	半透明ビニールシート+黒色アルミ	53.7
BB	黒色ビニールシート	22.1
N	促進材料なし	0

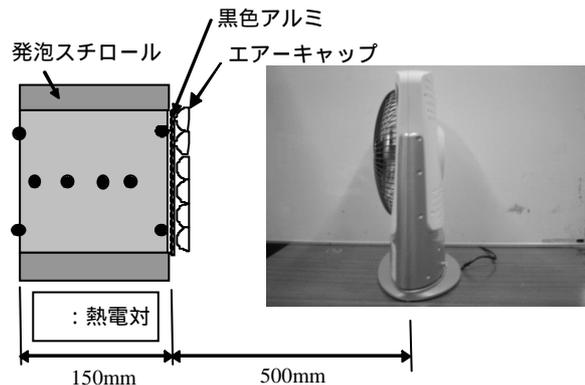


図-1 実験状況 (ハロゲンランプ)

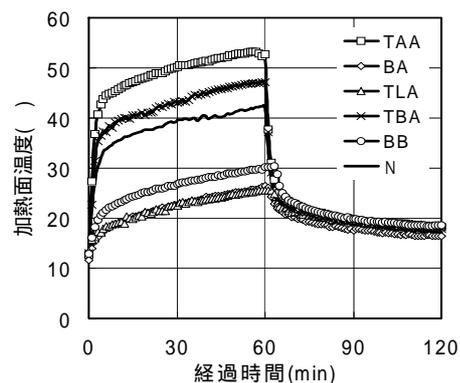


図-2 コンクリートの表面温度

表-2 ハロゲンランプの実験結果一覧

	TAA	BA	TLA	TBA	BB	N
開始(0分)	12.7	11.6	13.4	13.1	12.9	12.8
停止(60分)	53.3	26.5	25.6	47.2	30.3	42.4
温度差(°C)	40.6	14.9	12.2	34.1	17.5	29.6
Nとの差(°C)	11.1	-14.7	-17.4	4.6	-12.1	0.0

2.2 屋外実験による集熱効果

屋外実験では、最も促進効果を得られたエアークャップについて検討した。測定は平成 18 年 8 月 4 日で、7:00 から 17:00 まで 10 時間連続して行った。天候は快晴で、最大日射量は $880W/m^2$ であった。試験体上面付近で測定した外気温は測定開始時では 26.1、最高気温は

12:30 に 43.9 、終了時は 28.8 であった。また、試験体への直達日射は建物間の実験のため 8:30 ~ 15:20 である。日射及び外気温によるコンクリートの上昇温度は、熱電対をコンクリート表面に貼付けて測定した。なお、試験体の側面には図-1 と同様に厚さ 50mm の発泡スチロールを貼付けている。実験に用いた各促進材料を表-3 に示す。No.1 ~ No.3 の試験体は、2 層式を用い、各球径が 10mm、20mm、32mm である。No.4 試験体は、3 層式で球径が 10mm、そして No.5 試験体が促進材料のない標準試験体である。実験は、5 試験体同時に行った(図-3 参照)。

その結果を図-4 に示す。各促進材料の中で最も促進効果が得られたものは、2 層式で球径が 32mm の No.3 試験体であった。No.3 試験体の上面温度が最も高くなった時刻は、測定開始時から 375 分後の 13:15 で 67.0 まで上昇した。標準試験体との温度差では、13:30 に 22.4 の有意差が現れている。これは、球径が他ものよりも大きいことで黒色アルミ箔への日射透過率が向上し吸熱量が増したこと、またハニカム構造と同様に日射エネルギーと適度な隔壁空気層との関係から対流損失がより抑制されたものと考えられる。他の試験体の最高温度は、No.1 試験体が 13:20 に 55.5 、No.2 試験体が 12:30 に 51.5 、No.4 試験体が 12:40 に 58.6 、No.5 試験体が 12:25 に 48.4 まで上昇した。標準試験体との温度差は、No.1 試験体が 15:15 に 13.9 、No.2 試験体が 8:55 に 8.4 、No.4 試験体が 14:00 に 13.6 まで上昇した。

3.3 RC 梁による集熱効果とひび割れ評価

実構造物を想定したRC梁の実験では、日射実験で最も促進効果が得られた 2 層式で球径 32mm のエアークャップを用いてひび割れ評価を行った。試験体は、幅 300mm × 高さ 210mm × 長さ 2,800mm で主鉄筋には D16 を 3 本、圧縮側に 2 本配置し、ひび割れ評価は降伏荷重にて中断し、ひび割れの測定を行った(図-5 参照)。赤

表-3 エアークャップ種別

試験体	エアークャップの種類
No.1	2層 #42、球径 = 10mm
No.2	2層 #60、球径 = 20mm
No.3	2層 #78、球径 = 32mm
No.4	3層 #42L、球径 = 10mm
No.5	標準試験体(促進材料なし)

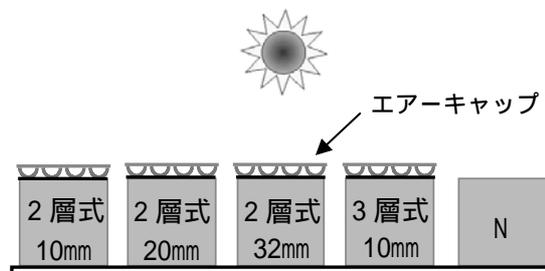


図-3 実験状況(日射実験)

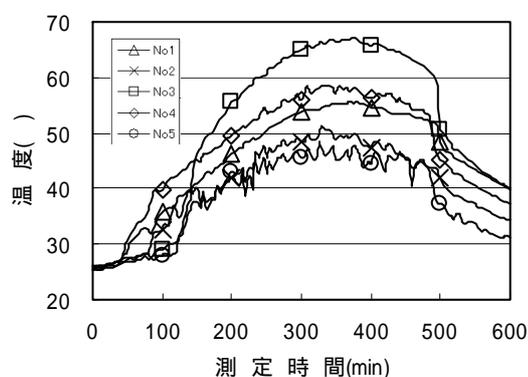


図-4 各試験体表面温度

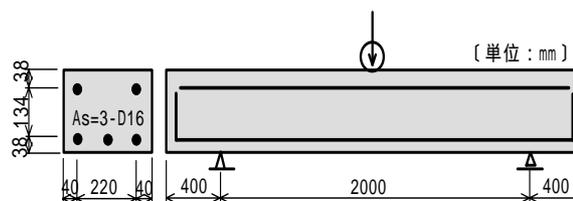


図-5 RC 梁試験体及び配筋状態

外線カメラによる温度測定は、高さ 2.3m の L 型鋼で試験体を支え、測定距離 1.65m の真下の位置から平成 18 年 9 月 19 日の 7:00 より 17:00 までの 10 時間を 20 分間隔で時系列の熱画像を得ることにした(写真-1 参照)。測定面は試験体が高いため、試験体を三分割して赤外線カメラを移動して熱画像の撮り込みを行った。なお、赤外線カメラによる測定面は試験体の支点間の 2,000mm となっている。また、試験体は測定面以外からの熱の流入を遮断するため

側面に厚さ 50mmの発泡スチロールを貼付けている。測定日の天候は晴れときどき曇りで、RC梁への直達日射時間は 7:50 ~ 14:40 であり、日射量は 10:50 に 880W/m²の最大となった。また、測定日の最大風速は 4.3m/s、平均風速は 1.7m/s で、測定開始時の試験体上面の外気温は 23.9 、最高気温は 13:20 に 34.9 、終了時では 22.9 であった。試験体の温度上昇を図-6 に示す。

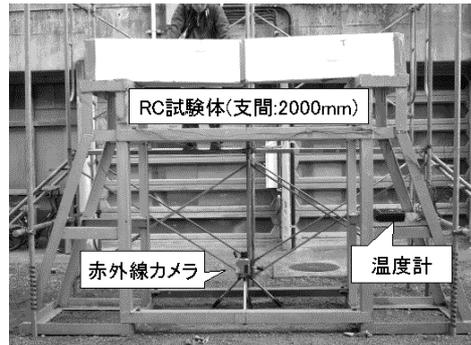


写真-1 測定状況(測定範囲: 支間 2,000mm)

その結果、試験体の上面は 13:10 に最高温度 51.2 まで上昇した。図-7 は降伏荷重時に得られた側面のひび割れ進展状況と 16:40 の熱画像である。底面の長手方向の中心位置に沿った温度分布変化は、特にひび割れ番号 と 間に形成されたアーチ状のひび割れ、さらに底面付近で枝分かれしたひび割れによって熱移動が遮断され健全部と比較すると放物線状に

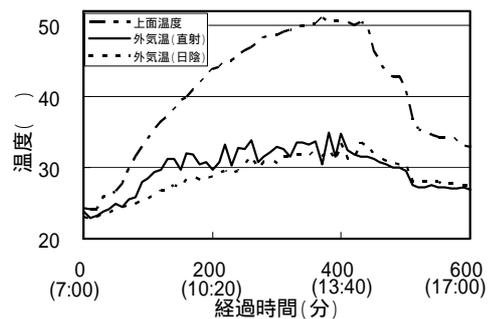


図-6 試験体上面温度変化

0.58 程度の低温域が確認される。RC梁の中央を境にしてひび割れは右方向に、は左上方向に進展しているため、上部からの熱移動が遮断され熱拡散によって、あたかも内部に潜在する水平な剥離部と同様の温度分布変化を示したものと考える。底面の温度変化は、測定開始時から外気温の上昇によって熱が蓄積されるが、13:30 以降は上面からの熱伝達からひび割れ部は健全部よりも低温域を示すことになる。

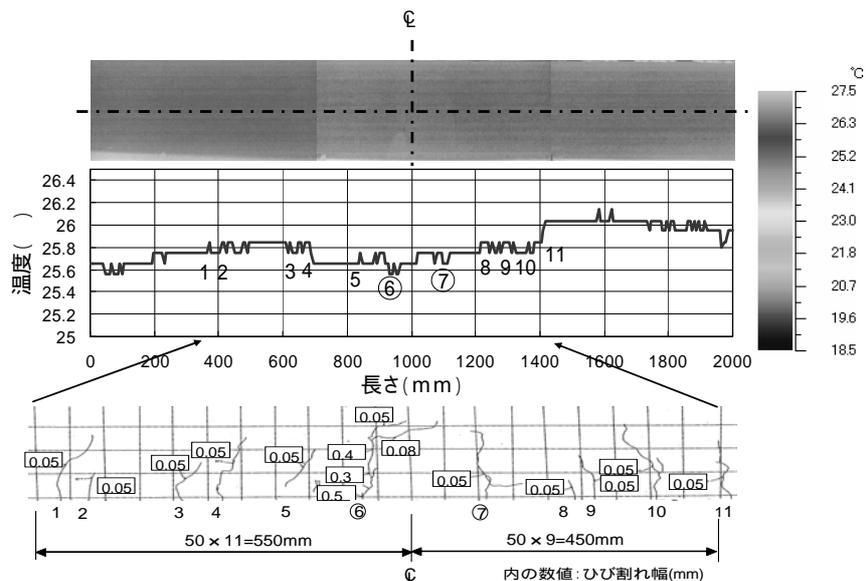


図-7 ひび割れ状況と熱画像

4.まとめ

本研究で得られた所見を以下に示す。

- (1) 促進材料では、半透明のエアークャップと黒色アルミ箔の組合せが最も吸熱量及び保温の効果が大きく、最適な促進材料である。
- (2) エアークャップの種類では、比較的球径の

大きい2層式、球径 32mm が最も集熱効果が大きく、コンクリートの上面温度が、50 ~ 60 近くまで上昇した。

(3) RC梁での実験では、曲げ及びせん断力からコンクリート上部で枝分かれしたアーチ状のひび割れ間に緩やかな放物線状の低温域が現れ、熱伝達のレスポンスの相違を利用して内部の進展形態の評価が可能であった。