

令和元年6月11日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K14290

研究課題名(和文) マイクロ波加熱と赤外線サーモグラフィ測定によるコンクリート表層部の水分移動評価

研究課題名(英文) Evaluation of water penetration at concrete surface area by microwave heating and IR thermography

研究代表者

高谷 哲 (Takaya, Satoshi)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：40554209

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、マイクロ波加熱により温度上昇した個所を赤外線カメラで測定することによりコンクリート表層部の水分移動を評価することを試みた。その結果、モルタル部分が乾燥している場合にはひび割れ部に水が浸入すると健全部に比べて高温になり、ひび割れ幅が大きいあるいは加熱時間が長いとひび割れ部と健全部の温度差が大きくなることが確認された。一方で、モルタル部分の含水率が高い場合にはひび割れ部はモルタル部分の蓄熱が大きいため、健全部に比べて低温となることが確認された。さらに、水セメント比が小さいほど蓄熱は大きく、加熱後の冷却過程でひび割れ部が明瞭になることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細孔構造や含水率などの影響を受けるため、ひび割れ部と健全部の温度差でひび割れ幅や深さを定量評価することは難しいと考えられる。ただし、乾湿繰返しを受ける構造物においては乾燥時に散水し、同一条件(加熱時間や撮影距離)で測定を行えば、温度差の変化によりひび割れの拡大を評価できると考えられる。また、擁壁などのように背面水の影響を受ける構造物では、加熱後の冷却過程における変化から水の浸透経路となるひび割れの可視化ができる可能性がある。また、水セメント比の違いによる緻密さの違いが蓄熱の違いとして現れたことから、マイクロ波加熱と赤外線サーモグラフィにより表層品質の評価をできる可能性があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study it was tried to evaluate water penetration by measurement of IR thermography after microwave heating.

As results, it was confirmed that temperature of crack part become higher than sound part when water penetrate into crack in case mortar part is dry. And temperature gap between crack part and sound part become larger as crack width become larger or heating time become longer. On the other hand, in case moisture content of mortar part is high, temperature of crack part become lower than sound part because heat storage of mortar part is large. Furthermore, crack part can be observed more clearly in the cooling process after heating when water cement ratio is small.

研究分野：土木材料学

キーワード：コンクリート ひび割れ 水分移動 マイクロ波 赤外線サーモグラフィ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

コンクリート中の鉄筋はアルカリ環境下にあるため不動態化しており、腐食しにくいことが知られている。しかし、塩化物イオンの浸入や中性化による pH の低下により鉄筋が腐食している事例が数多く報告されている。鉄筋腐食の評価手法としては、自然電位法や分極抵抗法などが一般的に用いられるが、これらの手法では電流分散範囲の平均的な腐食程度しか評価できないため、部分的に著しく腐食が進行した個所の評価を行うのは難しいのが現状である。実際のコンクリート構造物においては、塩化物イオンなどの劣化因子がコンクリート表層部の水分移動に伴いコンクリート中に浸入し、乾湿繰り返しの影響により局所的に高濃度の塩化物イオン濃度になるようなケースも多く見られる。そのためコンクリート表層部での水分移動を評価できると部分的に腐食が進行しやすい箇所をあらかじめ推定できるようになると考えられる。そこで本研究課題では、コンクリート表層部の水分移動を非破壊検査で評価できる手法の開発を目指すこととする。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、マイクロ波加熱により温度上昇した個所を赤外線カメラで測定することによりコンクリート表層部の水分移動を評価することを目指す。さらにマイクロ波加熱による温度変化が水分量や表層のひび割れ深さなどによって変わると考えられるため、どの程度の深さまで水分移動の影響があるかについても評価することとする。

### 3. 研究の方法

使用した供試体は 40×40×160mm のモルタル供試体で、曲げ載荷試験により生じるひび割れ幅を制御するために 0.5wt.% の鋼繊維を混入した。ひび割れを導入した後、ひび割れ面に散水し、表面乾燥後にマイクロ波を照射してひび割れ内部の水分を加熱し、赤外線サーモグラフィ測定を行う。赤外線カメラの撮影距離は最小焦点距離である 0.5m とする。その際に、散水後加熱するまでの時間や加熱時間を調整し、マイクロ波加熱と赤外線サーモグラフィ測定による水分移動評価手法の適用範囲についても検討することとする。

### 4. 研究成果

水セメント比 60% のモルタル供試体に曲げ載荷試験を行い導入したひび割れ幅は 0.05, 0.1, 0.2mm であった。それぞれの供試体のひび割れ面に散水し、表面水をふき取った後にマイクロ波加熱を行い、ひび割れ部と健全部の温度差を赤外線カメラにより測定を行っている。加熱時間は 10s, 20s, 30s および 60s とした。各供試体のひび割れ写真と加熱 20s の熱画像を図 1 に示す。図を見ると、加熱時間が短いケース (20s) でもひび割れ部で高温になっており、健全部との差が明確に表れていることが分かる。

さらに、ひび割れ部と健全部の温度差に与えるひび割れ幅および加熱時間の影響を図 2 に示す。図を見ると、ひび割れ幅が大きくなるにつれて健全部との温度差が大きくなっていることが分かる。これは、ひび割れ幅が大きくなるほどひび割れ深さも深くなり、ひび割れに内包される水分量が多くなるためであると考えられる。また、加熱時間の影響を見てみると、加熱時間が長くなるにつれて概ね線形に健全部との温度差が大きくなっていることが分かる。ただし、加熱時間 60s では 0.1mm と 0.2mm の差は見られない。このことから、加熱時間が長すぎるとひび割れ幅の違いを検出しにくくなることが分かった。

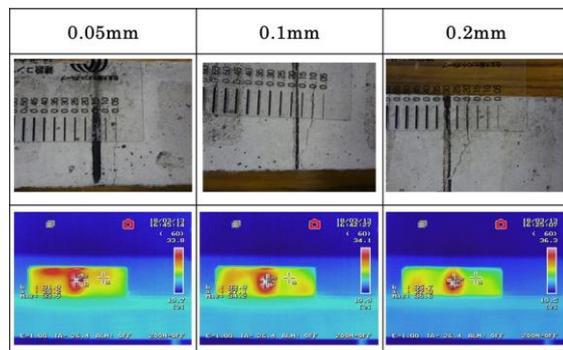
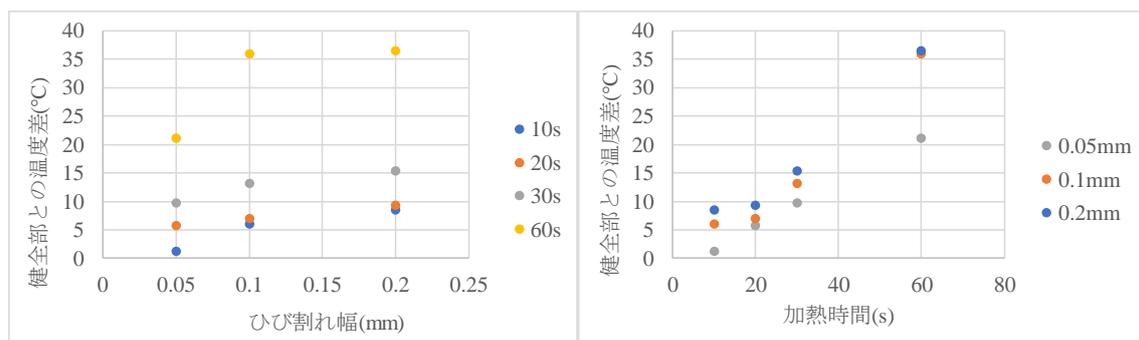


図 1 各供試体のひび割れ幅と熱画像の一例 (加熱時間 20s)



(a) ひび割れ幅の影響

(b) 加熱時間の影響

図 2 ひび割れ部と健全部の温度差

た。

一方で図1を見ると、20s加熱でも高温部が広範囲に広がっており、ひび割れ近傍の細孔に水分が浸入した可能性が考えられる。そのため、細孔の影響を検討するために、異なる水セメント比のモルタル供試体を作製し、同様の試験を行った。導入したひび割れ幅は0.2mm、加熱時間は30sとした。その結果を図3に示す。図を見ると、前述の試験と異なり、健全部の方がひび割れ部よりも温度が高くなっていることが分かる。この原因は、養生後すぐに試験を行ったために、モルタル部分に十分な水が存在していたことが原因と考えられる。ひび割れ部と健全部の温度差は加熱10s後の時点で、水セメント比40%で2.2℃、50%で4.9℃、60%で4.6℃であった。また、健全部の最大温度は加熱10s後において水セメント比40%では48.7℃、50%で48.5℃だったのに対して60%では45.3℃であった。これは水セメント比が小さいほどモルタルの水が抜けにくいことを表している。また、加熱10s後にはいずれのケースでもひび割れ形状は不明瞭であるが、加熱後の冷却過程における温度分布の変化を見ると、徐々にひび割れ形状が明確になっていることが分かる。水セメント比が小さいケースほどひび割れ形状が明瞭になっており、ひび割れ近傍の細孔への水の浸入が少なかったことが確認された。

以上の結果から、ひび割れ幅だけでなく、細孔構造や含水率などの影響を受けるため、ひび割れ幅やひび割れの影響をひび割れ部と健全部の温度差で定量評価することは難しいと考えられる。ただし、乾湿繰返しを受ける構造物においては乾燥時に散水し、同一条件（加熱時間や撮影距離）で測定を行えば、温度差の変化によりひび割れの拡大を評価することができると考えられる。また、擁壁などのように背面水の影響を受ける構造物では、加熱後の冷却過程における変化から水の浸透経路となるひび割れの可視化ができる可能性があると考えられる。

また、水セメント比の違いによる緻密さの違いが蓄熱の違いとして現れたことから、マイクロ波加熱と赤外線サーモグラフィにより表層品質の評価をすることができる可能性があると考えられる。

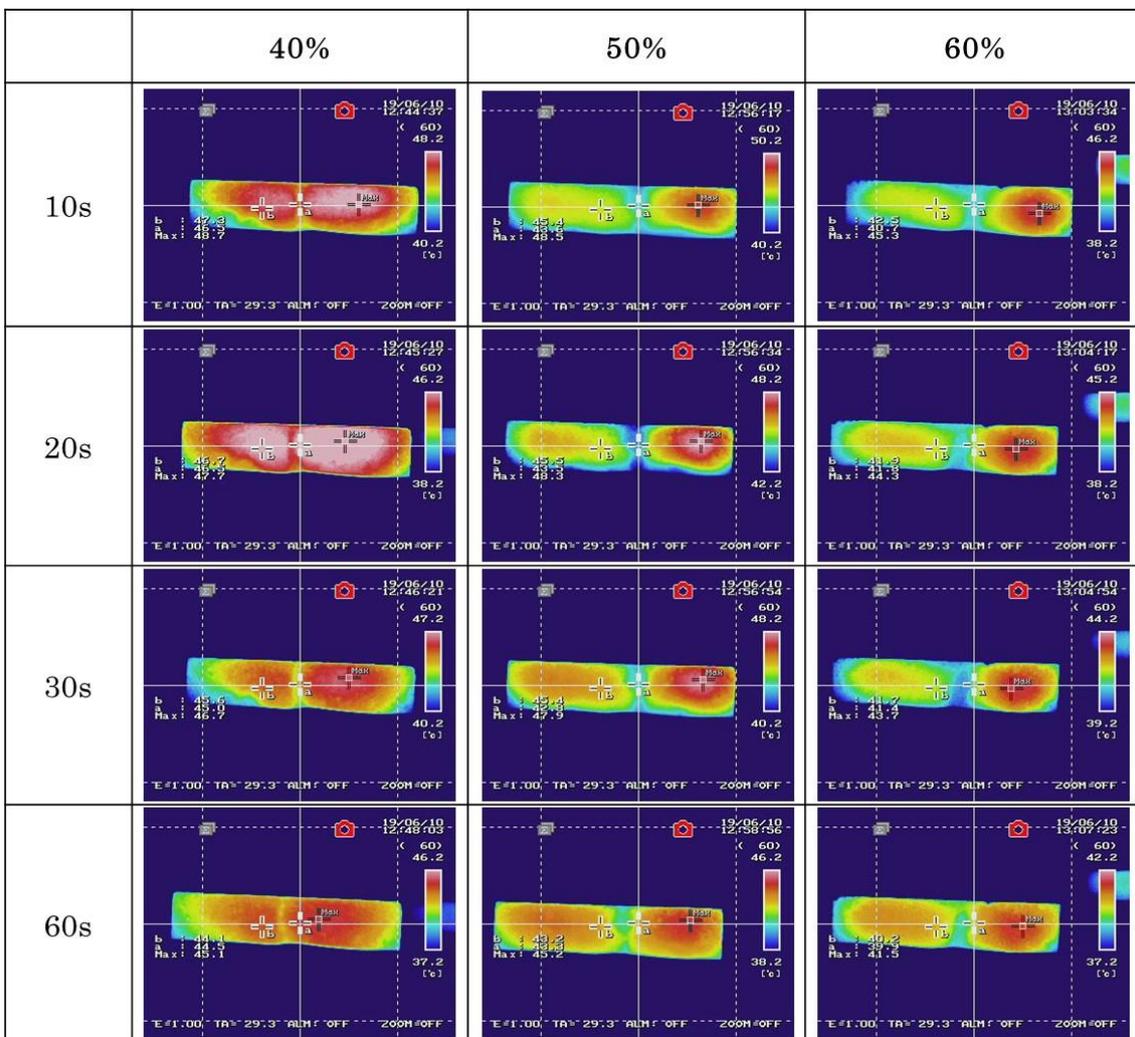


図3 マイクロ波加熱に与える細孔構造の影響と加熱後の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕（計 件）

〔図書〕（計 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況（計 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：内田慎哉

ローマ字氏名：(Uchida, Shinya)

所属研究機関名：富山県立大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：70543461

研究分担者氏名：上田尚史

ローマ字氏名：(Ueda, Naoshi)

所属研究機関名：関西大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：20422785

研究分担者氏名：川崎佑磨

ローマ字氏名：(KAWASAKI, Yuma)

所属研究機関名：立命館大学

部局名：理工学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）：90633222

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。