

## 赤外線法を用いたコンクリートの内部欠陥形状の推定

長崎大学 学生会員 野口 大貴 正会員 山口 浩平  
 長崎大学大学院 学生会員 江頭 優  
 富士フィルム株式会社 吉田 那緒子

### 1. 背景および目的

本研究はコンクリートの損傷の一つであるうきに着目した。うきとは、鉄筋腐食によりコンクリート表面の付着力が低下し、コンクリート片が押し出された状態である。うきの特徴として、外観から見えない点、第三者等への危険性が高い点、すぐに措置を行う必要があると判断される割合が高い点が挙げられる。写真1にうきの損傷を示すが、外観からはうきの有無が判別しづらいことがわかる。写真2に2021年7月に起きたコンクリート片はく落事故<sup>1)</sup>を示す。さらに、うきは補修後しばらくして新たに劣化する再劣化の事例が多く確認されており、うきは致命的損傷と言える。

そこで本研究の目的を、うきの発生メカニズムの解明とした。現在、うきの検出には打音法が用いられているが、うきの有無は判別できるものの、そのうきのコンクリート表面からの深さ、進行度合いは判断できない。図1に本研究のフロー<sup>2), 3)</sup>を示す。本研究では赤外線法とコンピュータ断層撮影法（以下、CT

(Computed Tomography) とする) を用いる。現在は赤外線法とCTをそれぞれ異なる供試体（同図緑枠）で個別に検討しているが、将来的には腐食と疲労を考慮した複合劣化供試体（同図青枠）に赤外線法とCTを同時に検討し、赤外線法による外部情報とCTによる内部情報から、うきの発生メカニズムを解明する。

### 2. 赤外線法による内部欠陥形状の推定

#### 2.1. 実験および数値解析の概要

赤外線法を用いて、コンクリートの内部欠陥形状の推定を目的とした実験を行った。赤外線法は、うき部が健全部に比べて暖まりやすく冷めやすいため、健全部との温度差が生じるといった温度特性を利用した手法である<sup>4)</sup>。図2にうきを模した供試体を示す。模擬欠陥として厚さ1mmのスチレンボードを使い、模擬欠陥が水平で深さ10mm, 20mm, 30mm, 40mmの位置に埋設した供試体を作成した。また、欠陥のない供



写真1 うきの損傷

写真2 コンクリート片はく落

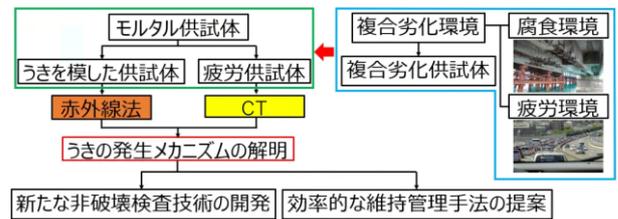


図1 本研究のフロー

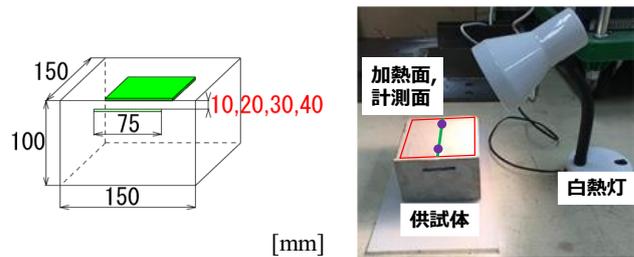


図2 うきを模した供試体

写真3 実験状況

表1 解析条件

材料条件		
材料	コンクリート	空気
熱伝導率 (W/mK)	2.55	0.0257
比熱 (kg/m³)	1,050	1,005
密度 (J/kgK)	2,200	1.166
初期条件		
節点温度 (K)	293	
境界条件		
熱流束 (W/m²)	190	
熱伝達係数 (W/m² K)	10	

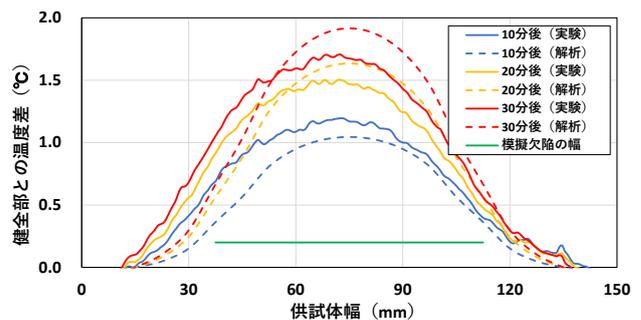


図3 深さ10mmに水平な欠陥を埋設した供試体の実験結果と解析結果

試体、傾斜のついた欠陥を埋設した供試体、円錐形の欠陥を埋設した供試体もそれぞれ作成した。

写真3に実験状況を示す。白熱灯を用いて供試体上面を30分加熱し、加熱開始後10分間を1分刻みで、それ以降を2分刻みで供試体上面の温度を計測した。同写真より、白熱灯が斜めから照射されているため、供試体上面には白熱灯加熱に起因した温度勾配が発生している。そこで実験における温度は、模擬うきがない周辺領域（同写真赤枠）から温度勾配を推定し、計測値から温度勾配を除外して、健全部との温度差として算出している。

また、実験と同条件の三次元非定常熱伝導解析を実施した。表1に解析条件を示す。解析条件は、田中らの研究<sup>5)</sup>を参考にした。解析における温度は、供試体上面中央部（写真3緑線）の温度を抽出し、健全部と仮定した左右15mm地点（同写真紫点）からの差を求め、欠陥部と健全部の温度差として算出している。

## 2.2. 実験結果

図3に深さ10mmに水平な欠陥を埋設した供試体の実験結果と解析結果を示す。加熱開始後10分、20分、30分での健全部との温度差を算出している。同図より、幅75mmの欠陥中央において両結果とも最大となっていることがわかる。本報では水平の結果のみを載せ、傾斜のついた欠陥や円錐形の欠陥における同様の図は割愛したが、いずれも実験結果と解析結果は概ね一致しており、数値解析の妥当性が確認できた。

## 2.3. 数値解析を用いた内部欠陥深さの推定

欠陥厚さの影響を検討するため、実際のひび割れで致命的とされる厚さ0.2mm、その半分の0.1mm、そして本実験と同じ厚さの1mmを比較する。図4に加熱時間の違いによる最大温度差との比と欠陥深さを示す。(a)が欠陥厚さ0.1mm、(b)が欠陥厚さ0.2mm、(c)が欠陥厚さ1mmの場合である。縦軸は、各加熱

時間での健全部との温度差を加熱30分後の健全部との最大温度差で除した値である。3つのグラフは概ね一致しており、内部欠陥深さの推定を行うにあたり、欠陥厚さの影響を除外できることがわかる。例えば、実構造物において、10分間加熱してコンクリート表面の任意の点の最大温度差との比が0.4であれば、同図から欠陥深さは16mmと推定できることがわかる。このことは、所定の最大温度差との比になるまでに要した加熱時間で、内部欠陥の深さを推定できることを示唆している。

## 3. まとめおよび今後の予定

- 1) 赤外線法を用いた実験と同条件の三次元非定常熱伝導解析における健全部との温度差は、両者の傾向や特徴が概ね一致していることから、数値解析の妥当性が確認できた。
- 2) コンクリート表面温度から最大温度差との比を求め、欠陥厚さ0.1mm、0.2mm、1mmで比較した結果、傾向や特徴が概ね一致していることから、内部欠陥深さの推定には欠陥厚さの影響は除外できることが確認できた。
- 3) コンクリート表面温度において最大温度差との比に着目することで、内部欠陥深さを推定できることが確認できた。

今後は、水平な内部欠陥の範囲の推定と、傾斜のついた欠陥や円錐形の欠陥について、内部欠陥の深さや範囲の推定に取り組む。

### 参考文献

- 1) 国土交通省、国道228号松前町白神 コンクリート片落下による通行止めについて（第2報）、2021.7
- 2) <https://www.cbr.mlit.go.jp/road/taisaku/current/cur02.html>
- 3) <http://myotada.cocolog-nifty.com/myoutada/2017/05/post-6362.html>
- 4) 赤外線法 | 中国地質調査業協会
- 5) 田中寿志、鳥取誠一、仁平達也：アクティブ赤外線法における照射条件に関する解析的研究、コンクリート工学年次論文集 Vol.28, No.1, 2006

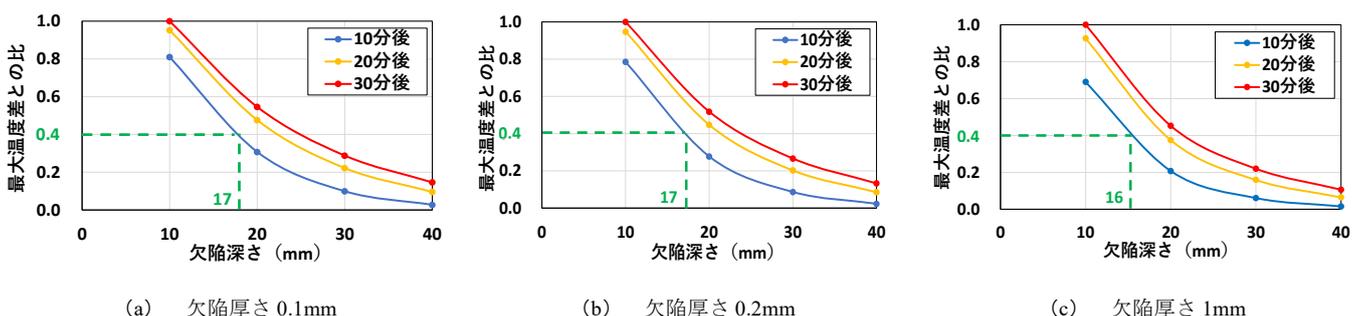


図4 加熱時間の違いによる最大温度差との比と欠陥深さ