

V-279

赤外線法による豆板探査に関する基礎的研究

立命館大学大学院 駒居裕登 立命館大学理工学部 尼崎省二

1. はじめに

コンクリートは、表面あるいは内部から劣化し、内部空隙、豆板等の施工不良が構造物の劣化を促進する場合がある。本研究は、赤外線法によりコンクリート硬化後の表層部近傍の豆板を探索する方法の検討とともに3次元非定常熱伝導解析による解析的検討を行ったものである。

2. 実験概要

本実験に使用した型枠は図-1に示すように内寸B250 mm×H400 mm×W400 mmとし、豆板はあらかじめウェットスクリーニングした粗骨材を型枠に詰め硬化させた後、ビニルシートで覆ったものを豆板のモデルとして、図-1に示すように設置した。各豆板寸法および表面からの距離を表-1に示す。コンクリート表面の温度変化は日射によって与えた。赤外線撮影は、日射による供試体側面の温度変化の影響をなくするために周囲に発泡スチロール板を貼り付けた。供試体を赤外線カメラから3 mの位置に設置した。なお、供試体中央部には、実際のコンクリート温度を測定するために外気温、健全部・豆板部に相当する供試体表面に熱電対を取り付けた。供試体表面を一樣な温度に近づけた状態を初期画像とし、加熱開始し、30秒間隔で5分間、1分間隔で15分間、5分間で20分間撮影を行った。なお、赤外線撮影は10月～1月の冬期に行い、表-2に使用した赤外線カメラの仕様を示す。

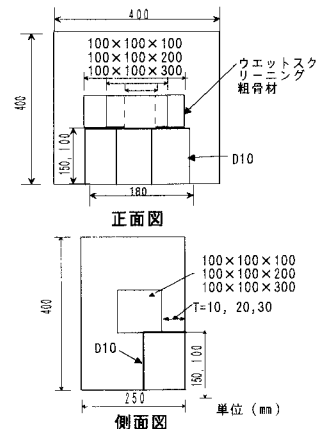


図-1 供試体

3. 3次元非定常熱伝導解析

供試体表層部の3次元非定常熱伝導解析は、20節点アイソパラメトリック要素により行った。解析では、豆板がコンクリート表面の温度分布に及ぼす影響を検討するため、図-2に示す1/4解析モデルを採用した。豆板モデルは断面100×100 mmで長さ100 mm、200 mmおよび300 mmと

表-1 豆板の形状

豆板	
寸法 (mm)	100×100×100 100×100×200 100×100×300
型枠表面からの距離 (mm)	— 10 20 30

表-2 赤外線カメラの仕様

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
感度(温度分解能)	3.0℃で0.05℃
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

表-3 解析条件

コンクリート表面からの熱流束 q_s	1200 (W/m ²)
表面の熱伝達係数 α	12 (W/m ² ·K)
コンクリート壁の温度	15℃一定
外気温	20℃

した。解析に用いた境界条件および材料特性を表-3、表-4に示す。なお、コンクリートの放射率は、0.60とした。熱伝達係数は、赤外線撮影条件である無風あるいは微風を考慮し、 $\alpha=12$ とした。また、対流による熱流束は $q_{air}=12(T_s-T_0)$ から算出した。ここで q_{air} ：対流による熱流束、 T_s ：供試体表面温度、 T_0 ：表層部近傍における外気温である。

4. 実験・解析結果および考察

本実験において、豆板の埋設深さ、大きさに関わらず全ての豆板の探査が可能であった。赤外線画像は、熱画像ではコンクリート表面の色調など、豆板探査の誤診を招くため温度差画像

表-4 材料特性

材料	熱伝導率 λ (W/m·K)	比熱C (J/kg·K)	密度 ρ (kg/m ³)
コンクリート	1.6	800	2300
豆板	1.0	840	1700

Keywords 赤外線法、豆板、3次元非定常熱伝導解析、非破壊検査

〒525-0055 草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 Tel0775-61-2726 Fax 0775-61-2667

を作製することにした。探查結果の一例を（ $T=30$ mm、 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ 100 mm）図-3 に示す。日射開始から 20 分後の温度差画像で健全部と欠陥部の温度差が 2°C 程度であった。図-4 に熱電対による $T=10$ mm、 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ 100 mmの温度経時変化を示す。豆板探查が可能となるのは、健全部と豆板部の供試体表面温度差 1°C 以上であった。日射加熱によって 1°C の温度差を生じるまでの時間は、 $T=10$ mmでは大きさに関わらず 1 分程度であった。なお実測で日射開始 15 分後の温度差は $T=10$ mmで 6°C 程度であった。図-5 は $T=20$ mm、 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ 100 mmで健全部と豆板部の温度差 1°C を生じるまでの時間は 2 分程度、15 分後の温度差は 3°C 程度であった。図-6 は $T=30$ mm、 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ 300 mmで 1°C の温度差を生じるまでの時間は 13 分程度、15 分後の温度差は 1°C 程度であった。豆板探查が可能となる 1°C の温度差を生じるまでの時間は、豆板埋設深さ T (mm) が深くなるとともに時間を要し、日射開始十数分後の健全部と豆板部の温度差も小さくなると考えられる。図-7、図-8、図-9 に図-4、図-5、図-6 に対応した解析結果を示す。解析値から日射加熱によって 1°C の温度差を生じるまでの時間は、実験値とよく一致していることがわかる。解析による日射開始から 15 分後の健全部と豆板部の温度差は、豆板埋設深さが深くなると共に小さくなっており実験値とよく一致している。なお本実験では、深さ 10 mm、20 mmの豆板は、日射開始から数分程度で探查が可能であったが、深さ 30 mmの豆板は、探查できるまで十数分を要したことから、豆板探查の可否については日射開始からの探查時間を考慮する必要がある。

5. 結論

本研究では、赤外線法によるコンクリート表層部近傍の豆板評価について要約すると、以下のものである。

日射による加熱によって深さ 30 mm以下で $100\times 100\times 100$ mm以上の豆板探查が可能である。この場合、コンクリート表面から 10、20 mm程度までの深さにある豆板は数分で探查できるが、深さ 30 mm程度になると数十分となる。

コンクリート表面から豆板までの距離が小さくなると共に、健全部と豆板部の温度差が大きくなり豆板探查が、容易になる。

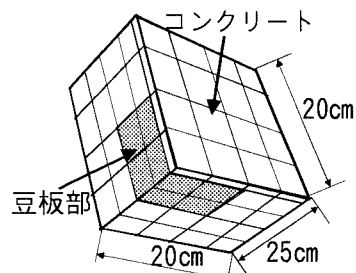
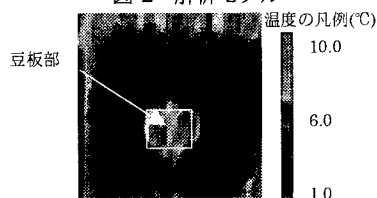


図-2 解析モデル



$T=30$ mm 100 mm $\times$ 100 mm $\times$ 100 mm

図-3 撮影開始 20 分後の温度差画像

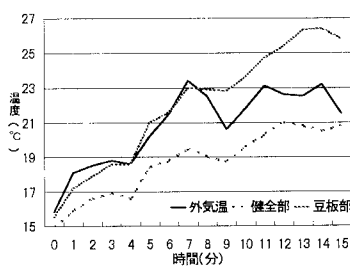


図-4 $T=10$ mm、

$100\times 100\times 100$ mm (実測値)

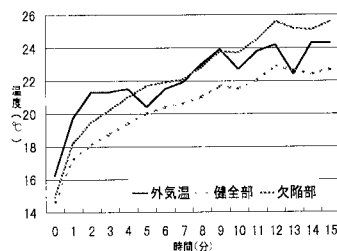


図-6 $T=20$ mm、

$100\times 100\times 100$ mm (解析値)

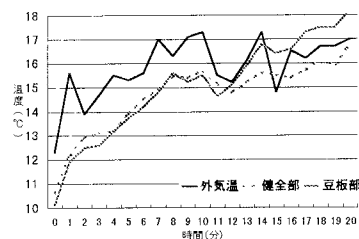


図-8 $T=10$ mm、

$100\times 100\times 300$ mm (実測値)

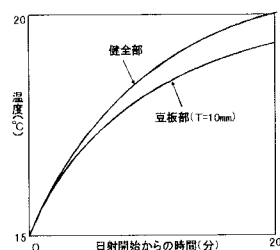


図-5 $T=10$ mm、

$100\times 100\times 100$ mm (解析値)

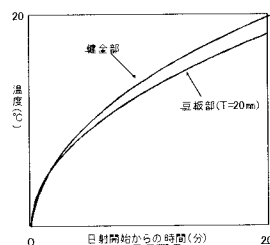


図-7 $T=20$ mm、

$100\times 100\times 100$ mm (解析値)

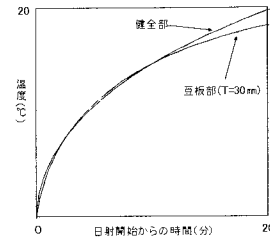


図-9 $T=30$ mm、

$100\times 100\times 300$ mm (解析値)