

V-121

赤外線サーモグラフィ法による豆板の探査

立命館大学大学院 学生員○小林 香木  
大成建設株式会社 学生員 駒居 裕登  
立命館大学理工学部 正会員 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打設中に発生する豆板の探査限界、および日射のない場所での硬化コンクリートの表層部近傍に存在する豆板の探査可能性を検討した。

# 2. 実験概要

型枠は内寸B250 mm×H400 mm×W400 mmとし、赤外線画像撮影面のせき板に鋼（厚さ5 mm）あるいは合板（厚さ12 mm）を用いた。打設中に発生する豆板の探査では、供試体作製用コンクリートを5 mmふるいでウェットスクリーニングした粗骨材をブリキ製の円筒容器に詰めたもので豆板をモデル化し、図-1に示す様に設置した。赤外線画像の撮影は、打設開始時の画像を初期画像とし、各層の締固め終了時および打設終了後は鋼製せき板の場合は30秒間隔、合板製せき板の場合は1分間隔で豆板が確認できなくなるまで行った。豆板探査可能時間は3層締固め終了時を基準とした。

硬化コンクリート中の豆板探査では、ウェットスクリーニング粗骨材を所定の寸法に硬化させた後、豆板をビニルシートで覆ってモデル化し、図-1に示すように設置した。コンクリート表面の温度変化は外気温の変化のみによるものとし、供試体側面の温度変化の影響をなくするため、周囲に発泡スチロール板を貼り付けた。赤外線撮影は冬季（11月～1月）に行い、計測は1時間間隔で24時間行った。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および健全部・豆板部に相当する供試体表面に熱電対を取り付けた。なお、両実験とも供試体と赤外線カメラの距離は供試体全体が撮影できるように供試体撮影面から直角方向を3 mとした。

# 3. 実験結果および考察

打設中における温度差画像による各供試体の豆板探査結果の一例（合板製せき板、豆板形状φ200 mm、T=0 mm、26分後の熱画像と初期画像との温度差画像）を図-2に示す。これは、コンクリートの練上がり温度25℃、せき板温度20℃で打設を行い、健全部と豆板部でのせき板表面温度差は0.4℃であり、豆板探査が可能であった。

豆板探査結果を表-1に示す。鋼製せき板では豆板埋設深さT=0 mmでφ100 mm以上、T=10 mmでφ150 mm以上、合板せき板ではT=40 mm以下でφ100 mm以上、T=50 mmでφ200 mmの豆板を埋設した供試体が、健全部と豆板部でのせき板表面温度差が0.2℃以上となり豆板の客観的な探査が可能であった。豆板が小さくなるほど豆板探査が困難になるの

keywords：赤外線サーモグラフィ法、豆板、非破壊検査

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部土木工学科 Tel077-561-1111

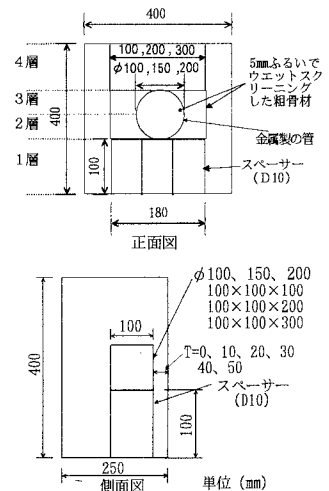


図-1 供試体の正面および側面図

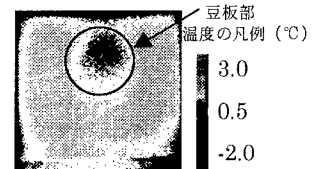


図-2 フレッシュコンクリートの豆板探査結果の一例

表-1 フレッシュコンクリートの豆板探査評価

| せき板の種類 | 豆板の大きさ(mm) | 豆板の深さ T (mm) |    |    |    |    |    |
|--------|------------|--------------|----|----|----|----|----|
|        |            | 0            | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 鋼製せき板  | φ200       | ○            | ○  | ×  | ×  | ×  | ×  |
|        | φ150       | ○            | ○  | ×  | ×  | ×  | ×  |
| 合板製せき板 | φ100       | ○            | ×  | ×  | ×  | ×  | ×  |
|        | φ200       | ○            | ○  | ○  | ○  | ○  | ○  |
|        | φ150       | ○            | ○  | ○  | ○  | ○  | ×  |
|        | φ100       | ○            | ○  | ○  | ○  | ○  | ×  |

○：せき板表面における健全部と豆板部の温度差0.2℃以上  
×：せき板表面における健全部と豆板部の温度差0.2℃未満

は、豆板が小さくなるほどせき板と豆板の間のコンクリート量が少なくなり、その部分のコンクリート温度が周囲の健全コンクリート温度と熱平衡状態になりやすいため考えられる。

熱画像による硬化コンクリート中の豆板探査結果の一例として、豆板形状  $100 \times 100 \times 200 \text{ mm}$ 、 $T=20 \text{ mm}$  の供試体を 0 時および 13 時に撮影した熱画像および同時に熱電対により計測した温度経時変化を図-3、図-4 に示す。0 時の熱画像では健全部が  $11.1^\circ\text{C}$ 、豆板部が  $10.6^\circ\text{C}$ 、13 時の熱画像では健全部が  $10.4^\circ\text{C}$ 、豆板部が  $10.7^\circ\text{C}$  あり、豆板探査が可能であった。熱電対で計測した温度とその部分を熱画像で計測した温度はほぼ等しいが、熱電対による健全部と豆板部の温度差が  $0.2^\circ\text{C}$  未満の場合でも、熱画像では健全部が豆板部よりも  $0.2^\circ\text{C}$  以上の温度差になる部分を視認できることがあり、豆板の探査可能な場合がある。

各供試体の豆板探査可能時間を図-5 に示す。 $T=30 \text{ mm}$  以下、豆板形状  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  以上であれば、熱画像での健全部と豆板部の温度差が  $0.2^\circ\text{C}$  以上になる時間帯があり、豆板の客観的な探査が可能であった。豆板探査可能時間は 0 時、12 時前後の時間帯(図-4①)に多く見られる。しかし、 $T=10 \text{ mm}$ 、豆板形状  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  の供試体では 12 時から 15 時までは豆板が探査不可能であった。これは、12 時以降外気温が下降したため健全部と豆板部の温度差が小さくなったものと考えられる。豆板埋設位置が深くなるとともに、供試体表面と豆板の間のコンクリートとその周囲の健全コンクリートとの熱の移動が多くなり、コンクリート撮影面の温度が一樣になりやすいため、豆板探査可能時間が短くなる。豆板の大きさの違いによる探査可能時間にあまり差が見られないのは、豆板の大きさの違いは幅だけであり、高さや奥行きが等しいためと考えられる。健全部と豆板部の温度が逆転し、その差が開くのは、外気温の上昇時(図-4②)および下降時(図-4③)である。その時間に  $4^\circ\text{C}$  程度の温度変化があれば、健全部と豆板部の温度差が  $0.2^\circ\text{C}$  以上となり、豆板探査が可能であった。冬季の 0 時前後の時間帯では外気温の変化が小さいことも多く、その場合は 0 時前後の豆板探査が不可能なこともあるため、冬季に行う豆板探査は 12 時前後の時間帯に行うのが望ましいと考えられる。

#### 4. 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、以下のようである。

- 1) コンクリート打設中では、鋼製せき板の場合には、豆板埋設深さ  $0 \text{ mm}$  で  $\phi 100 \text{ mm}$  以上、 $10 \text{ mm}$  以下で  $\phi 150 \text{ mm}$  以上、合板せき板の場合には、豆板埋設深さ  $40 \text{ mm}$  以下で  $\phi 100 \text{ mm}$  以上、 $T=50 \text{ mm}$  以下で  $\phi 200 \text{ mm}$  以上の豆板探査が可能である。また、豆板の埋設深さが同じ場合、豆板形状が小さくなるほど豆板探査は困難になる。
- 2) 硬化コンクリートでは、冬季に外気温のみによって供試体に温度変化を与えた場合、深さ  $30 \text{ mm}$  以下で  $100 \times 100 \times 100 \text{ mm}$  以上の豆板探査が可能であり、豆板が探査できる時間帯は、冬季の場合は 12 時前後の時間帯である。また、外気温上昇時および下降時に  $4^\circ\text{C}$  程度外気温が変化すると、健全部の温度と豆板部の温度に差が生じる。

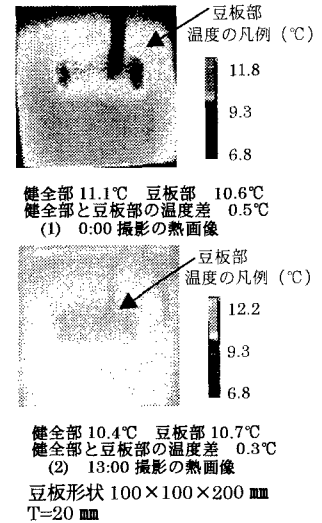


図-3 硬化コンクリート豆板探査結果の一例

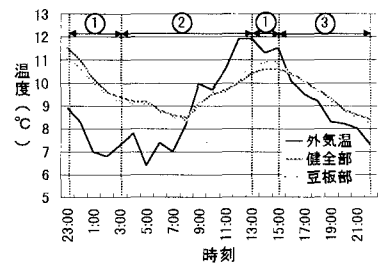


図-4 外気温、健全部および豆板部の温度経時変下

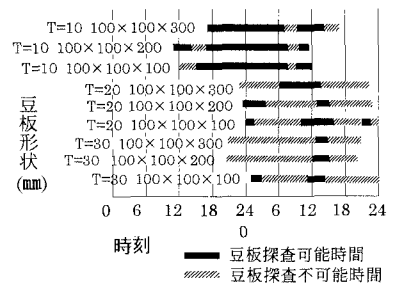


図-5 硬化コンクリートの豆板探査可能時間