

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おける豆板の発生をモニタリングする方法、および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B 250 mm×H 400 mm×W 400 mmとし、赤外線画像撮影面のせき板に鋼製（厚さ 5 mm）あるいは合板製（厚さ 12 mm）を用いた。打設中は、供試体作製に用いたコンクリートを 5 mmふるいでウェットスクリーニングした粗骨材を塩化ビニル管に詰めたものを、図-2に示すように設置して、打設中に発生する豆板をモデル化した。各豆板の寸法、せき板表面からの距離を表-1に示す。赤外線画像の撮影では、供試体と赤外線カメラの距離を供試体全体が撮影できるように供試面から直角方向に 3 mとした。撮影時間は、打設開始時の画像を初期画像とし、30 秒間隔で 5 分間、1 分間隔で 10 分間、5 分間隔で 45 分間とした。

硬化後の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化として、図-2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伝対を取り付けた。供試体表面を様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。なおコンクリート打設中、コンクリート硬化後の赤外線撮影は 10 月～1 月の冬期に行った。

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の結果を表-2に示す。表-2では、健全部と豆板の温度差が 1℃以上であれば豆板の客観的な探査が可能であると仮定し、1℃を基準とした。この場合、鋼製せき板では、 $T=10$ mm以下、 $\phi 100$ mm以上、合板せき板では $T=30$ mm以下、 $\phi 100$ mm以上の豆板が探査可能であった。この探査結果の相違は、せき板の熱伝導率が原因していると思われる。すなわち、熱伝導率は鋼が $80.3\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、合板が $0.05\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であり、健全部コンクリートと豆板部の温度差がせき板に伝導しても、鋼製せき板では、熱が早く拡散してせき板全体が一様な温度になりやすく、表面から遠い距離に豆板部が存在する場合、健全部と豆板のせき板の表面温度差が非常に小さくなり探査が困難であったと考えられる。例えば、鋼製せき板を用いた $T=10$ mm、 $\phi 100$ mmでは、コンクリ

Hiroataka KOMAI, Shoji AMASAKI

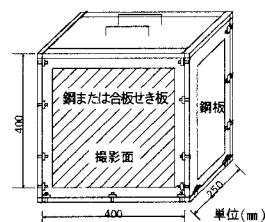


図-1 型枠

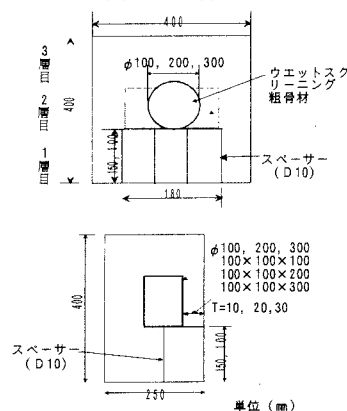


図-2 供試体および側面図

表-1 豆板の形状

豆板	打設中	硬化後
寸法 (mm)	$\phi 100$ $\phi 150$ $\phi 200$	$100 \times 100 \times 100$ $100 \times 100 \times 200$ $100 \times 100 \times 300$
型枠表面から の距離 (mm)	0 10 20 30	— 10 20 30

ートの練上り温度がせき板温度よりも3℃高い状態でコンクリートを打設して、豆板部が健全部より1℃低温部となったが、T=20mmでコンクリートの練上り温度がせき板よりも3℃高い場合には豆板の探査は困難であった。合板せき板のT=20mmでコンクリートの練上り温度がせき板温度よりも4℃低い状態で健全部と豆板部の温度差が1℃以上で探査可能であった。探査結果の一例（合板せき板 T=30mm、φ100mm、打設終了10分後）を図-3に示す。これは、コンクリートの練上り温度24℃、せき板温度20℃で4℃温度差があり、健全部と豆板部の温度差が1℃であった。なお、コンクリート温度がせき板温度より高い場合および、低い場合についても豆板探査は可能であった。また、鋼製せき板の豆板探査時間は打設終了時から7分程度可能であり、合板せき板の場合は打設終了から60分程度可能であった。

硬化コンクリート中の豆板探査は、豆板の深さに関わらず、全ての豆板が探査可能であった。探査結果の一例（T=30mm、100mm×100mm×100mm）を図-4に示す。日射開始から20分後の差画像で健全部と欠陥部の温度差が2℃程度であった。図-5に各供試体の豆板部と健全部の温度差を示す。豆板探査が可能となるのは、健全部と豆板部の供試体表面温度差1℃以上であった。日射加熱によって1℃の温度差を生じるまでの時間は、T=10mmでは深さに関わらず1分程度、T=20mmでは2分程度およびT=30mmでは13分程度で温度差1℃程度であった。なお日射開始15分後の温度差はT=10mmで6℃程度、T=20mmで3℃程度およびT=30mmで1℃程度であった。豆板探査が可能となる1℃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。なお本実験では、深さ10、20mmの豆板は、日射開始から数分程度で探査が可能であったが、深さ30mmの豆板は、探査できるまで十数分を要したことから、豆板探査の可否については日射開始からの探査時間を考慮する必要がある。

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、鋼製せき板は深さ10mm以下で直径100mm以上、合板せき板では深さ30mm以下で直径100mm以上の豆板がモニタリングできる。この場合、豆板探査可能時間は鋼製せき板の場合、打設中から7分程度および合板せき板の場合打設終了から60分程度である。
- 2) 硬化コンクリートでは、日射による加熱によって深さ30mm以下で100×100×100mm以上の豆板探査が可能である。この場合、コンクリート表面から10、20mm程度までの深さにある豆板は数分で探査できるが、深さ30mm程度になると数十分となる。

表-2 打設時の豆板探査結果（差画像）

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

○：健全部コンクリートと豆板の温度差が1℃以上

×：健全部コンクリートと豆板の温度差が1℃未満

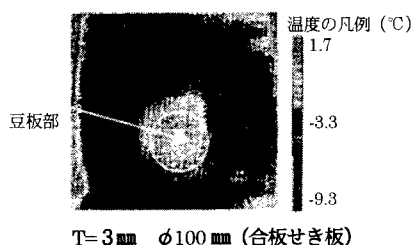


図-3 打設終了10分後の赤外線温度差画像

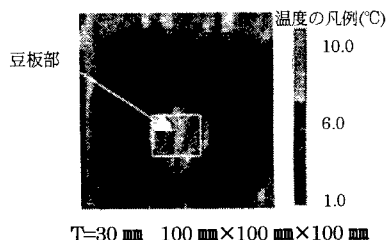


図-4 撮影開始22分後の温度差画像

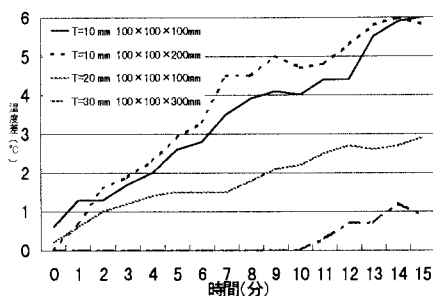


図-5 健全部と豆板部の温度差の経時変化