

1. はじめに

すべての物体においては、その表面温度と表面状態に関連した電磁波を放射および反射しており、その波長域は赤外線域である。この赤外線を計測する装置が安易に利用できるようになったため、状況の微妙な変化に即応した表面温度分布の変化が映像として瞬時に得ることができるようになり、その物体の置かれている環境の変化を追跡することが可能になった。本報告は、このことを利用してコンクリートの内部性状を表面温度から判読しようとする一連の研究の中で、一軸圧縮荷重によってコンクリートの内部性状に変化が生じた供試体の表面温度を赤外線センサで観測し、内部性状の変化がどのような状態になっているかを実験的に調べた結果を報告するものである。

2. 実験概要

表-1 コンクリートの配合表

供試体の種類	骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単 位 量 (kg/m ³)					圧縮強度 σ_{28} (kgf/cm ²)
						水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	
普通 コンクリート	20.0	50	45	8.2	1.8	160	320	854	1020	—	33.7
AE コンクリート	20.0	43	45	8.5	5.3	138	320	833	994	0.80	39.3

表面温度測定に使用した赤外線計測装置は、本実験の計測温度範囲が約20～300℃であるため、0～5.6μmの中間赤外線波長域に应答範囲を持つスウェーデンAGA社製の赤外線センサで、その測定精度は0.1℃である。コンクリート供試体はJIS A 1132に準じて作製されたφ15×30cmの円柱型の普通コンクリートおよびAEコンクリートである。材料としてはセメントが普通ポルトランドセメント(比重3.16)、細・粗骨材が茨城県鹿島産の川砂(比重2.64、F.M.2.61)および陸砂利(2.58、F.M.7.40)、混和剤がボゾリスNo.5Lを用い、それぞれの配合は表-1に示す通りである。赤外線センサによるコンクリート表面温度の測定法は次のようである。

- (1)コンクリート打設後28日間水中養生を行った供試体を、同種の供試体で図-1に示すような応力-ひずみ曲線をあらかじめ求めておき、一軸圧縮荷重を破壊寸前時まで載荷した。
- (2)圧縮荷重を受けた供試体の軸方向中心をカッターで切断し、φ15×15cmとした円柱供試体の中心軸に沿ってφ1.2×15cmの棒状発熱体を埋め込んだ。
- (3)円柱供試体を立てた状態にして発熱体から熱(170Kcal/m・s)を供給し、径方向の熱伝導が定常状態になった時、その上部円形断面内の温度を鉛直方向から赤外線センサにより測定した(写真-1参照)。

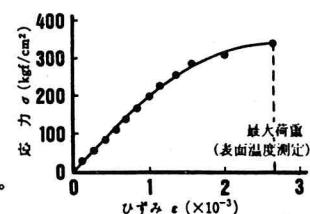
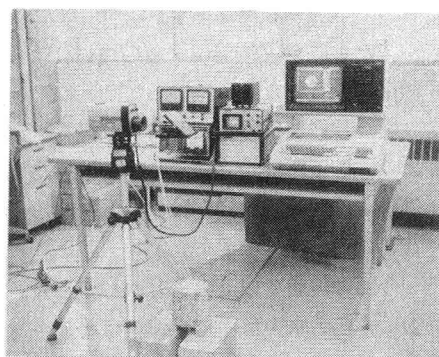
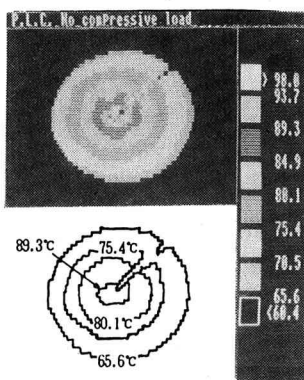
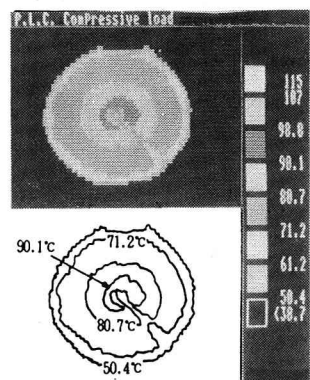
3. 赤外線センサにより測定された表面温度分布

写真-2、3に普通コンクリート、写真-4、5にAEコンクリートの赤外線センサにより測定された無荷重および圧縮荷重による破壊寸前時の円柱供試体中心部の円形断面温度分布画像を示した。この画像は赤外線センサにより測定された円形断面内の縦5.0mm、横2.9mmの画素サイズ範囲の温度を、画像処理により任意な温度幅の白黒濃度スライスで現わした画像である。

4. 解析

表面温度からコンクリートの性状を知る方法のひとつとして、表面温度から推定される熱伝導の状態によってその性状を判読することが考えられる。一般に、セメントおよび骨材の種類、コンクリート中に含まれる気泡の量、およびコンクリートの比重などの違いがコンクリートの熱伝導率に影響を及ぼすとされている。本研究においては、コンクリートが圧縮荷重を受けて弾性限界を越えた時、正常なコンクリートとどのように熱伝導の状態が異なるかを赤外線センサにより測定された表面温度から判読することにした。

供試体上部円形断面表面における熱伝導率は中心軸で供給された熱量が、すべて円柱の径方向を通過すると考えると次式より求めることができる。

図-1 応力-ひずみ曲線
(普通コンクリート)写真-1 赤外線センサによる円柱供試体の
表面温度測定状況写真-2 無荷重供試体の表面温度分布
(普通コンクリート)写真-3 破壊時荷重を受けた供試体の
表面温度分布(普通コンクリート)

$$\lambda = (q / 2 \pi) \times (\log e (r_2 / r_1) / (\theta_1 - \theta_2)) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 λ : 熱伝導率 (Kcal/m・h・℃)

q : 熱量 (Kcal / m・h)

r : 半径方向の距離 (m)

θ : 温度 (℃)

本研究では、(1)式の $(\log e (r_2 / r_1) / (\theta_1 - \theta_2))$ を径方向の熱伝導による温度勾配と考えた。各径方向の温度勾配は、赤外線センサで測定された表面温度分布をもとに、円形断面中心から径方向の距離に対する温度を片対数紙にプロットし、その平均値を(1)式に代入して供試体表面での熱伝導率を求めた。図-2、3に、普通コンクリートおよびAEコンクリートの無荷重および圧縮荷重による破壊寸前時の円柱供試体の一径方向の表面温度分布を示した。

熱源温度および周辺温度の影響により各径方向とも中心部および端部での温度が一樣に変化していないので温度勾配の推定にあたっては、温度変化が一樣である中心から径方向 3~5 cmの温度変化を対象にした。

表-2に各径方向の表面温度から算定した熱伝導率および温度勾配を示した。表面温度から得られた熱伝導率の値は、一般的なコンクリートの値より大きい値を示した。これは熱伝導率算定に用いた(1)式の q の値として表面から外界に放散した熱量が計測できなかったために発熱体から供給している全熱量を計算に用いたためである。

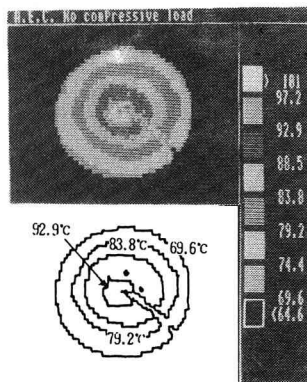


写真-4 無荷重供試体の表面温度分布 (AE コンクリート)

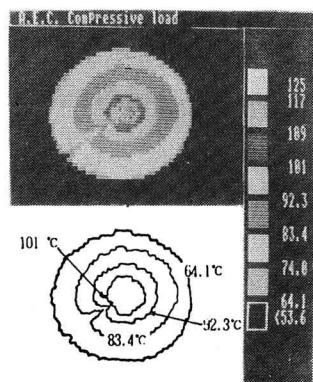


写真-5 破壊時荷重を受けた供試体の表面温度分布 (AE コンクリート)

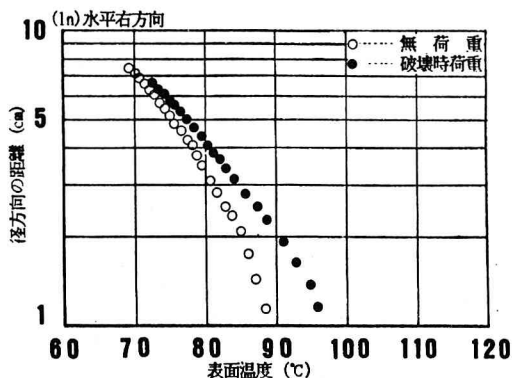


図-2 表面温度分布から作成した径方向温度変化図 (普通コンクリート)

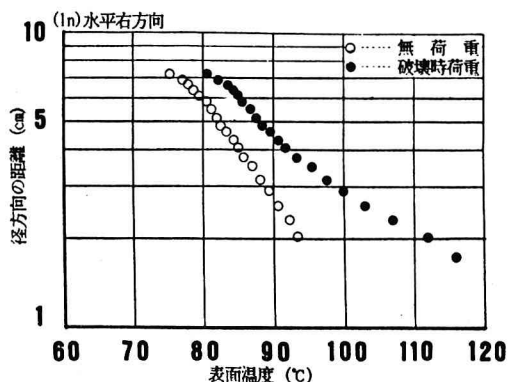


図-3 表面温度分布から作成した径方向温度変化図 (AEコンクリート)

表-2 表面温度から算定したコンクリートの熱伝導率

供試体の種類	荷 重	表面温度より算定した熱伝導率 (kcal/m・h・℃)					温度勾配
		鉛直上方向	鉛直下方向	水平左方向	水平右方向	平均 値	
普通コンクリート	無 荷 重	7.58	7.15	7.15	7.25	7.28	-0.0959
	破壊時荷重	6.31	6.10	6.30	6.16	6.22	-0.0688
AEコンクリート	無 荷 重	6.75	6.50	6.50	6.66	6.60	-0.0737
	破壊時荷重	4.39	4.47	5.45	4.59	4.73	-0.0418

4. 考察

前述のように、コンクリートの熱伝導に影響する要因として考えられることは、コンクリート中に含まれる空隙の存在があるが、常温における空気熱伝導率はコンクリートに比べてかなり小さい。したがって、コンクリート中に空隙が含まれると熱伝導率の伝達が阻害され熱伝導率の値が小さくなる。本研究の実験結果でもこの現象は顕著に現れている。すなわち、空隙の含有が多いAEコンクリートの方が、普通コンクリートよりも熱伝導率の値が小さくなっており、圧縮荷重を受けてクラックが入ったと考えられる供試体の方が、熱伝導率の値が小さくなっている。このように空隙量の違いが熱伝導率の大きさの違いとしてとらえることができた本実験法は、この測定精度を向上させることにより表面温度から内部状態を推定したり、品質管理などの面で大いに有用となるものと考えられる。