

日本大学 学生会員 ○澤村康弘
 日本大学 正会員 柳内睦人
 中央工学校 正会員 金光寿一

1. まえがき

最近、コンクリート施工の合理化へ向けてプレキャスト製品の使用が不可欠となり、製品の品質向上が望まれている。プレキャスト製品は、機械設備はもとより使用材料の品質ならびに製造工程などの管理を行って製造されるために、等均質で所要強度を持っている。しかし、完成した製品の形状や仕上げ面などの品質検査は、目視や簡単な計測で確認し、内部の鉄筋の位置や所要の耐荷力などの評価はストックヤードに置いてある製品を規定ロットからランダムに抽出して載荷試験あるいは接触型の非破壊試験によって判定を行っている。そのため、製造時から品質検査の結果が得られるまでに時間を要することになる。本報告は、上述の諸問題を改善することができる検査法として熱赤外映像の利用を提案し、実用化に向けて実験的な検討を加えたものである。特に、この手法は、プレキャスト製品の製造工程に組込まれた蒸気養生後の冷却時に測定して得られる時系列の熱映像を利用する方法で製品に接触することなく遠隔操作で配筋状態を判読する検査システムを確立することを目指したものである。

2. 製品供試体および熱赤外線センサによる測定概要

観測の対象とした製品供試体は、配筋図どおりに配置された製品（規格製品と称する）とコンクリート打設や振動締め時に多発する鉄筋の移動を想定したかぶり厚に欠陥のある製品供試体（欠陥供試体と称する）で、横390mm×縦495mm×厚さ100mmの千葉県型側溝蓋〔製品名

表-1 製品供試体の概要

種別 内部状態の相違	鉄筋径 (mm)	かぶり厚 (mm)	鉄筋量 (cm^3)	備考
かぶり厚	D10	10	411.9	—
	D10	20	411.9	規格製品
	D10	60	411.9	—
	D10	70	411.9	—

CHL 2-30〕である（表-1

表-2 コンクリートの配合表

参照）。表-2 は、製品供試体のコンクリート配合表である。熱赤外線センサによる製品供試体の表面温度の測定は、

粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプの 範囲 (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	空気量 Air (%)	単位量 (kg/m ³)				圧縮強度 (kgf/cm ²)	
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	σ_{14}	σ_{28}
25.0	9±2.5	47.0	37.5	1.1	152	323	728	1204	335	400

コンクリート打設後の製品供試体を図-1 に示す養生条件（温度 $65\pm 2^\circ\text{C}$ および温度 $45\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $90\pm 3\%$ ）の蒸気養生室に入れ 10時間の等温度養生後の冷却時を対象に、養生終了後の 2分経過時に測定距離1.40mから1分間隔で20分間行い、時系列の熱映像を得ることにした。本研究で利用した観測システムは、センサを中心として熱映像をリアルタイムに 8mmビデオに取込み必要に応じてパソコンで画像解析ができるものである。なお、測定面は、鉄筋のかぶり厚の状態を良く判読できるよう製品供試体の引張側（製品供試体の裏側）である裏面を対象とした。

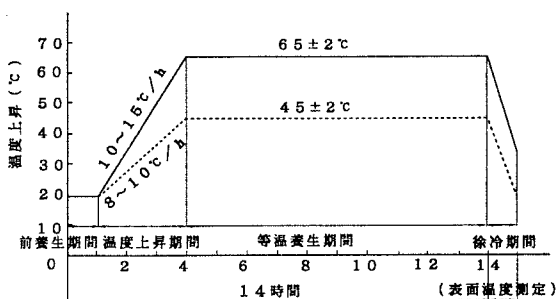


図-1 蒸気養生サイクル

3. 熱映像から算定した温度特性曲線

規格製品およびかぶり厚の異なった欠陥供試体から得られた時系列の熱映像には、鉄筋のかぶり厚の状態に応じた特徴的な温度分布パターンが現れないことが分かったので、熱映像に現れている製品面全体の温度分布から算定した平均温度の違いでその製品供試体を評価診断することにした。診断に利用する温度特性曲線は、各養生条件ごとに規格製品の熱映像が示す平均温度を基準とし、かぶり厚の異なった欠陥供試体の熱映像が示す平均温度との差から作成した。なお、平均温度の算定範囲は、製品の水切り部を除いた縦 465mm × 横 390mm (縦 215 画素 × 横 202 画素) の部分である。

図-2および図-3は、蒸気養生が温度 $65 \pm 2^\circ\text{C}$ および温度 $45 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $90 \pm 3\%$ の条件で10時間の等温度養生を行った鉄筋径および鉄筋数が同じで、20mmのかぶり厚を持つ規格製品に対する10mm、60mmおよび70mmのかぶり厚が異なった欠陥供試体の温度特性曲線である。得られた結果は、規格よりかぶり厚の浅い欠陥供試体は正領域を、かぶり厚の深い欠陥供試体は負領域を推移する温度特性曲線であった。これは、鉄筋がかぶり厚の浅い位置にあるほど蒸気養生によって供試体の鉄筋内に貯留した熱が冷却時に多く放熱されるためである。また、かぶり厚が深くなるほど上部のコンクリートが鉄筋の保温材の役割を果たして表面温度の差異が発生したものと考えられる。

4. 定量化した温度特性曲線による欠陥供試体の判別

鉄筋のかぶり厚が規格と異なる欠陥供試体の温度特性曲線は、その欠陥状況に対応して異なることが確認された。この実験結果を欠陥供試体の判別に利用する場合、温度特性曲線の線形の違いによる判別では定性的であり、実用的な判別法として利用し難いので、その線形を定量化して判別することにした。すなわち、温度特性曲線の定量化は、両養生とも温度特性曲線に差があり、経時変化がほぼ様な蒸気養生終了後 3分～7分間の温度差の平均値で代表させた。表-3は、かぶり厚と各養生条件ごとに蒸気養生後3分～7分間の温度特性曲線から算定した定量化値である。図-4は、鉄筋量が等しく作られた鉄筋のかぶり厚と温度特性曲線の定量化値との関係である。特に、養生条件が異なっても、この図を利用すればかぶり厚に欠陥がある製品を判定評価することができる。なお、判定の基準となる規格製品の表面温度分布は、各養生条件ごとに十分な温度データを蓄積しておくことが不可欠である。本報告で提案した温度特性曲線の定量化値を利用することで短時間で鉄筋の配筋状態を検査することができ、規格適合品であるか否かの品質管理が行えるものとする。

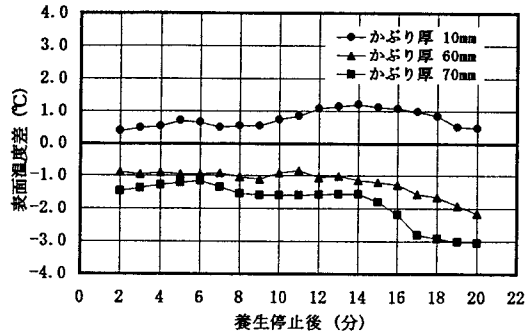


図-2 65℃養生時の温度特性曲線

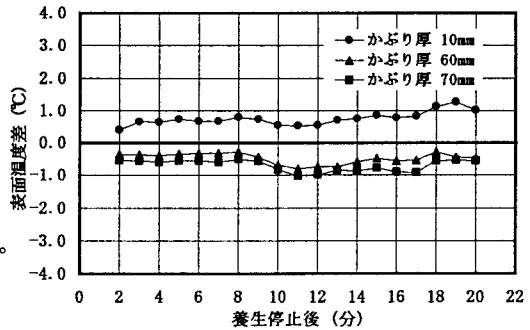


図-3 45℃養生時の温度特性曲線

表-3 温度特性曲線の定量化値

養生条件の相違	種別	製品番号	温度特性曲線の定量化値(°C)	備考
養生温度 ($65 \pm 2^\circ\text{C}$)		A-1	0.62	—
		A-2	0.00	規格製品
		A-3	-1.13	—
		A-4	-1.28	—
養生温度 ($45 \pm 2^\circ\text{C}$)		B-1	0.60	—
		B-2	0.00	規格製品
		B-3	-0.35	—
		B-4	-0.58	—

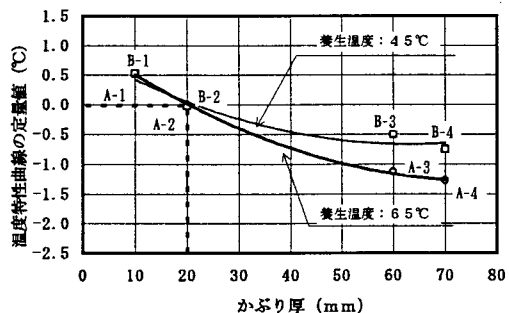


図-4 温度特性曲線の定量化値と
かぶり厚との関係