

V-81

熱映像によるプレキャストコンクリート製品の品質検査

日本大学 正会員○柳内 睦人
 東京大学 正会員 魚本 健人

1. まえがき

プレキャストコンクリート製品は、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、等均質で一様な所要強度を持っている。完成品の形状や仕上げ面などの品質は、目視や簡単な計測で確認しているが、内部の鉄筋の位置や所要の耐力などの評価は規定のロットから製品を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。試験体の抽出時は製造工程を一時停止しなければならないので製造工程ラインを稼働させながら判定することは困難である。

本研究は、上述の欠点を除去する検査法として製造工程における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した方法について記述したものである。

表-1 製品供試体の概要

2. 製品供試体および熱赤外線センサによる測定概要

本実験で使用した品質検査用の供試体は、横390mm×縦495mm×厚さ100mmの千葉県型側溝蓋（製品名 CHL 2-30）である規格製品（配筋図どおりに配置された製品）と、欠陥供試体（かぶり厚、鉄筋径および鉄筋数が基準に適さない製品）をモデルとした。なお、欠陥供試体は次の3つのタイプを用意した（表-1 参照）。

(1) かぶり厚に欠陥のある供試体

(2) 鉄筋径に欠陥のある供試体

(3) 鉄筋数に欠陥のある供試体

種 別		製品番号	鉄筋径 (mm)	かぶり厚 (mm)	鉄筋量 (cm ³)	備 考
内部 状態の相違	かぶり厚	A-1	D10	10	411.9	—
		A-2	D10	20	411.9	規格製品
		A-3	D10	60	411.9	—
		A-4	D10	70	411.9	—
鉄 筋 量	鉄筋径	B-1	D 6	20	182.9	—
		B-2	D10	20	411.9	規格製品
		B-3	D13	20	731.7	—
		B-4	D16	20	1146.9	—
	鉄筋数	C-1	D10 縦6×横12本	20	494.3	—
		C-2	D10 縦5×横10本	20	411.9	規格製品
		C-3	D10 縦4×横7本	20	303.9	—
		C-4	D10 縦3×横4本	20	195.8	—

熱赤外線センサによる製品供試体の表面温度の測定は、コンクリート打設後の製品供試体を保温シートで覆い、10時間蒸気養生（温度 $65 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $90 \pm 3\%$ ）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とした。なお、測定面は、鉄筋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。

3. 品質検査の基準となる温度特性曲線

時系列の熱映像を利用して製品内部の鉄筋状態に基づく品質検査をする場合、時系列の熱映像から得られる温度変化特性の基準が必要である。本品質検査法では、規格製品の熱映像から読み取った測定面の平均温度に対する品質検査の対象熱映像が示す測定面の平均温度との差分温度が示す経時曲線（温度特性曲線）を基準とした。なお、本研究で使用した供試体の熱映像には、内部の配筋状態に応じた温度分布が現れないことが分かったので、各供試体内部の鉄筋状態は、鉄筋径と鉄筋数から算定した鉄筋量で代表させた。平均温度の測定範囲は、製品の水切り部を除いた横390mm×縦465mm（縦202画素×横215画素）の部分である。

図-1 は、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のかぶり厚を持った欠陥供試体の温度特性曲線である。規格よりかぶり厚の浅い供試体はプラス側に、かぶり厚の深い供試体はマイナス側にある温度特性曲線となった。これは、鉄筋が浅い位置にあるほど鉄筋内に貯留した熱が冷却時に多く放熱されるためと考えられる。同様に、鉄筋径に欠陥がある供試体では規格より太

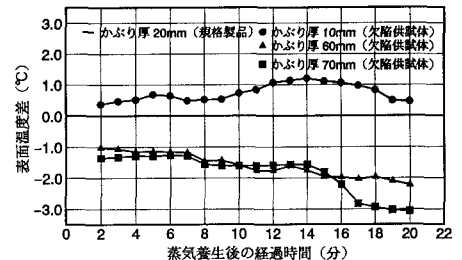


図-1 かぶり厚の異なる欠陥供試体の温度特性曲線

い径の鉄筋が入った供試体はプラス側に、細い径の鉄筋が入った供試体はマイナス側にある温度特性曲線となった。これは、鉄筋径が太いほど内部の鉄筋量が多く熱容量が大きいため、冷却時の放熱温度が高くなるためと考えられる。また、鉄筋数に欠陥がある供試体では規格より鉄筋数の多い供試体はプラス側に、鉄筋数の少ない供試体はマイナス側にある温度特性曲線となった。これは、鉄筋径の違いと同様、内部の鉄筋量の違いによる冷却時の放熱温度が高くなるためと考えられる。

4. 定量化した温度特性曲線による欠陥供試体の判別

かぶり厚、鉄筋径および鉄筋数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前述の実験で確認された。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、その線型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、温度特性曲線に差があり、経時変化がほぼ一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-2 は、かぶり厚および鉄筋量（縦鉄筋および横鉄筋の体積）の欠陥内容と蒸気養生後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。

表-2 温度特性曲線の定量化値

内部 状態の相違	種 別	製品 番号	温度特性曲線 の定量化値(℃)	備 考
か ぶ り 厚		A-1	0.62	—
		A-2	0.00	規格製品
		A-3	-1.13	—
		A-4	-1.28	—
鉄 筋 量	鉄 筋 径	B-1	0.70	—
		B-2	0.00	規格製品
		B-3	-0.61	—
		B-4	-1.07	—
	鉄 筋 数	C-1	0.22	—
		C-2	0.00	規格製品
		C-3	-0.25	—
		C-4	-0.72	—

図-2 は、鉄筋量が等しく作られた供試体のかぶり厚と温度特性曲線の定量化値との関係を示した。

図-3 は、かぶり厚が等しく作られた供試体の鉄筋量と温度特性曲線の定量化値との関係である。

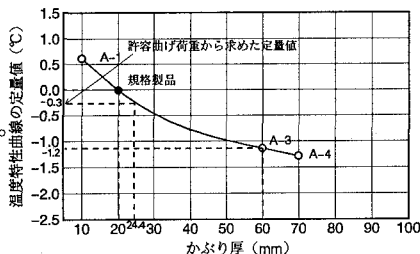


図-2 温度特性曲線の定量化値と
かぶり厚との関係

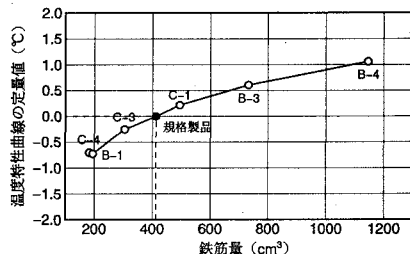


図-3 温度特性曲線の定量化値と
鉄筋量との関係

この図を利用すればか

ぶり厚、鉄筋径および鉄筋数に欠陥がある製品を判別するのに利用できるとともに、製品内部の鉄筋量を診断することができる。

5. かぶり厚を指標とした品質検査法の概要

製品内のかぶり厚、鉄筋径および配筋数などの違いが、温度特性曲線の定量化値により診断できることが確認できたので、この結果を製品の品質検査へ適用することにした。通常、鉄筋コンクリートはりにおけるひび割れは、曲げ引張ひずみが純引張における破壊開始点ひずみが約 130×10^{-6} に達すると発生すると云われている⁽¹⁾。これを規格製品に当てはめて平面保持の仮定よりひび割れ発生前およびひび割れ発生後の水平力またモーメントの釣り合いより算定すると、3,100kgfの曲げ荷重で引張縁にひび割れが発生することになる。そこで、本製品に対する規定の2,900kgfの曲げ荷重を載荷した時のかぶり厚10mm, 20mm, 30mmおよび40mmにおいてひび割れ発生する引張縁ひずみを算定した（図-4参照）。図から、本製品の許容曲げ荷重2,900kgfによってひび割れが発生するかぶり厚は24.4mmと推定することができる。図-2に示したかぶり厚の違いと温度特性曲線の定量化値との関係から、製品のかぶり厚24.4mmに対する温度特性曲線の定量化値は -0.3°C であることが分かる。また、 -1.2°C 以上の定量化値を持つ製品は、製品の裏表を間違えて鉄筋を挿入した欠陥品であると判定できる。

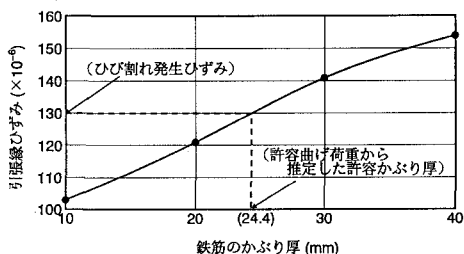


図-4 許容曲げ荷重に対するかぶり厚
と引張り縁ひずみとの関係

参考文献 (1) 吉本 彰：コンクリートの変形と破壊, p. 149, (株)学誠社