

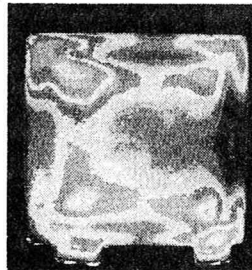
1. まえがき

既存構造物の損傷・劣化等に対する非破壊試験法の一つである熱映像による診断は、構造物の表面から熱涵養を受けると表面から内部へ、さらに冷却時における内部から表面への熱伝達が、熱伝導率の異なる材料や損傷の位置で阻害ならびに促進され、再び表面に戻る時間差によって生ずる表面温度分布パターンの変化を利用している⁽¹⁾。この原理を利用した従来の方法では、構造物に対して熱涵養が不足し、定量的な鉄筋位置の診断が困難であった。また、鉄筋を取り巻くコンクリートの密実状態などにより鉄筋の線型的な配列が熱映像に現れない欠点があった。本報告では、熱映像により線型的な配筋状態を判読する手法を開発することを目的とし、熱涵養された構造物表面が示す時系列な熱画像から得られる表面温度の時間変化が示す特性曲線を利用した内部診断ソフトの開発についての報告である。

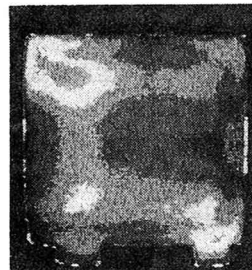
2. 表面温度分布が示す熱画像

本研究では、断面500mm×500mm×200mmの平板型鉄筋コンクリートで、かぶり厚10mmの位置に丸鋼φ25mm、φ22mm、φ19mmおよびφ16mmをロの字に配筋した供試体Ⅰと鉄筋径φ25mmをかぶり厚10mm、25mm、40mmおよび55mmの位置に同様に配筋した供試体Ⅱの供試体を2種類を用意した。なお、供試体は一般の土木構造物に適合した配合のコンクリートで作成した。熱涵養（アセチレンガスバーナーで5分間表面を加熱し、表面温度を40℃に上昇した）を受けた供試体表面を熱赤外線センサで観測して得られた熱映像には、表面および内部の状態に応じた高温域および低温域が混在した表面温度の分布パターンが現われた。

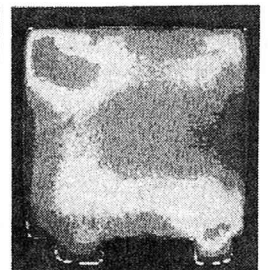
写真-1は、供試体Ⅰを加熱し、自然放置後の4分、7分および10分経過時に得られた熱映像である。熱映像には、内部状態に対応した高温域および低温域のさまざまな表面温度分布パターンが現れた。



(a) 4分経過時



(b) 7分経過時



(c) 10分経過時

写真-1 加熱時間 5分 (40℃温度上昇) の入力熱映像

3. 表面温度の時間変化を示す特性曲線

コンクリート構造物の内部

状態を判読するためには、熱映像内の任意な位置の特有な温度変化を示す特性曲線を利用する方法がある⁽²⁾。特性曲線とは、加熱停止後に測定した時系列的な熱映像を用い、対象位置の表面温度と画像平均温度との差が示す時間変化曲線を言う。この特性曲線を熱映像から求めるにあたっては、熱映像内の平均温度を示す位置の選定が重要なポイントとなるが、本研究では熱映像内に示される最高温度および最低温度との平均値を示す位置を平均温度位置としている。従って、画像内には平均温度位置が幾つか求められるが、本研究では温度の時間変化が一樣になる位置を選定した。図-1は、供試体Ⅰに熱涵養

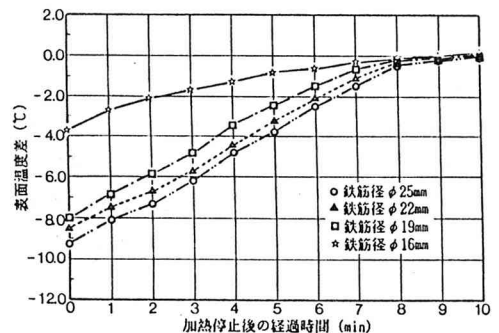


図-1 鉄筋径の相違による特性曲線 (供試体Ⅰ)

を加え、その冷却過程を観測して得られた異径の鉄筋が内部にある位置の表面温度の特性曲線である。この図より、鉄筋径の相違が特性曲線の減衰勾配の違いとして現れることが確認される。

4. 診断プログラムの作成

表面温度の特性曲線によって内部状態を判読する診断ソフトは、加熱停止後に得られた熱映像の中から最適な 3 時系列の熱映像 $[T_{i,j} (i=1 \sim 3, j=0 \sim 511)]$ の $i=1 \sim 3$ を利用する (図-2 参照)。診断ソフトの流れは図-2 に示すとおりであるが、その概要は次のとおりである。

- (1) 熱映像内の座標配列を $(0,0)$ から $(511,511)$ とした全画素が示す温度と選定した平均温度位置との温度差から全画素ごとの特性曲線を求める。
- (2) 鉄筋の径や深さの違いを判定する境界条件を設定し、これに合致する特性曲線を 5 つのグループに分類する。
- (3) 特性曲線の違いと構造物内部にある鉄筋の径および深さに対応させる。
- (4) 分類された特性曲線が示す画素に、それぞれ 5 段階の色を付けて画像出力する。

5. 診断ソフトによる適用例

写真-2 および写真-3 は、供試体 I および供試体 II の 3 時系列の熱映像に対して本診断ソフトを適用して得られた内部診断画像である。写真-1 に示したように一熱映像のみでは現れなかった鉄筋の埋設位置の表面に明瞭な線型の配筋状態を示す診断結果が得られた。また、その診断結果は、鉄筋を 5 段階のカラーで表示することが可能で、上方向ほど鉄筋径が大きい、表面に近い位置にあることを示している。この診断の結果、鉄筋径ならびに深さ位置を定量的に診断できることが確認された。

6. まとめ

従来の熱映像は、コンクリート構造物の表面温度をある温度帯を単位して表示していたが、この内部診断ソフトでは低温部および高温部を強調して微小な表面温度差まで表現できるようになった。従って、単に熱赤外線センサで観測した熱映像では現れない微小な温度変化部を画像出力できることになり、より正確な配筋状態の判読が可能になった。

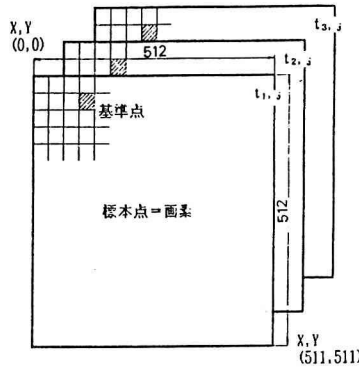


図-2 全画素の座標配列

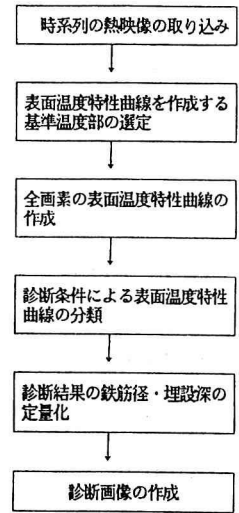


図-3 診断ソフトの流れ

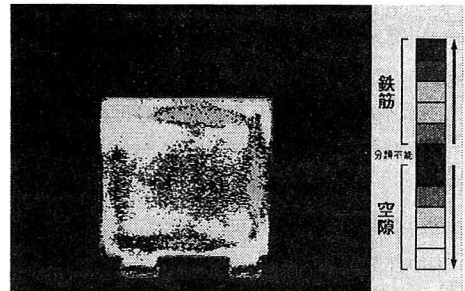


写真-2 特性曲線による内部診断画像 (供試体 I)

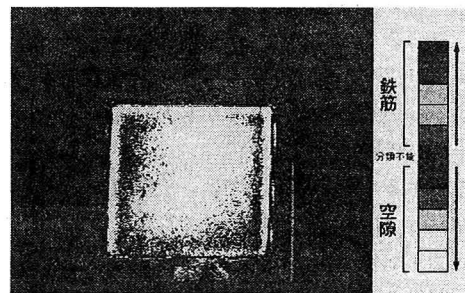


写真-3 特性曲線による内部診断画像 (供試体 II)

参考文献

- (1) 柳内陸人、魚本健人：熱赤外線計測技術によるコンクリート構造物内空隙・鉄筋の判読に関する基礎的研究 土木学会論文集 No. 442/V-16, pp. 91-100, 1992. 2

- (2) 柳内陸人、魚本健人：熱赤外データを利用した構造物コンクリート強度の推定に関する実験的研究 サーモグラフィー法に関するコンファレンス論文集 pp. 43-48, 1992. 4 (社) 日本コンクリート工学協会