

3D-5

航空機用リベット欠陥検出方式

西山由高<sup>1</sup> 久野裕次<sup>1</sup> 坂本常豊<sup>2</sup> 寺境弘之<sup>3</sup>

1 沖電気工業(株) 2 (株)沖テクノシステムズラボラトリ 3 三菱重工業(株)

1. はじめに

航空機の製造時のリベットの打鋸品質は、航空機の安全性に重要な役割を占めている。現在リベットの打鋸は機械化されているが、その外観検査は人間の目視に頼っている。その際、リベットの数が膨大であるため、検査員の労力が大きく、検査品質のばらつきが発生しやすいことが問題となる。これらを解決するには、外観検査の自動化を進める必要がある<sup>1)</sup>。現在、筆者らは、リベット自動外観検査システムの開発を試みており、今回はその実験システムで用いている欠陥検出方式について報告する。

2. リベット欠陥の特徴

本実験システムが検出対象とする欠陥は、リベットのかしめ頭側に発生する次の2種類の欠陥である。

- かしめ頭の径の大小(形状の歪み)
- かしめ頭の側面から上面に発生するひび割れ

図1は、航空機の外板材に打ち込まれたリベットかしめ頭とひび割れの様子を示している。同図(a)は概観図、(b)は断面図、(c)は上面図である。

これらの欠陥は、リベット自体の材質不良、打鋸機械の調整不良等の原因により発生するもので、欠陥リベットは、リベット接合部の破損を招くことになる。

ここで、リベットのかしめ頭を真上から見た場合には(図1(c))、次の様な特徴がある。

- 図1(b)に示すようにリベットかしめ頭の側面部は、丸みを帯びているため、正常リベットの輪郭部分は、真上から見ると円環状となる。
- 側面から上面に発生するひび割れがあれば、輪郭部分が階段状に歪むことが分かっている。

3. 画像入力方法

リベットのかしめ頭は、CCDカメラをかしめ頭の真上に配置して撮影することにした。その際、リベットの輪郭部分(側面部分)をコントラスト良く撮影するために、リング照明をカメラとリベットの間に配置した。

リベットの側面は丸みを帯びているため(図1(b))、側面部にあたった光は外側へ反射する。そのため、リベットの上面及び板材は明るく、輪郭部分は暗くなり、輪郭部分の検出が容易になる。

撮影されたリベットの原画像データ(512×512×8)はワークステーションへ送られて処理される。

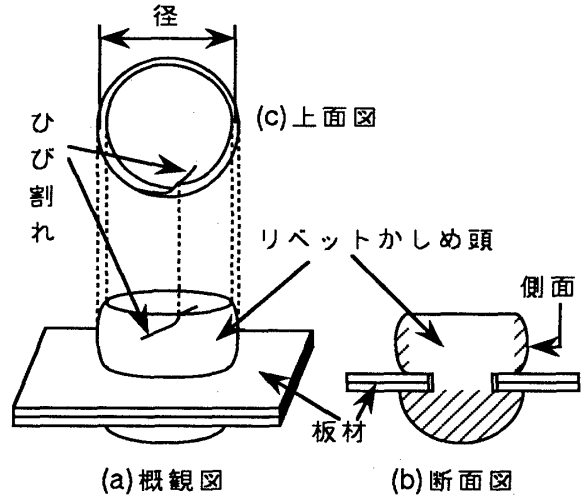


図1 リベット

4. 欠陥検出方式

4.1 輪郭領域抽出

前述の方法により撮影した原画像中の輪郭領域は、暗い円環状の領域となっている(円環部分の直径は300画素程度、円環の幅は10~30画素程度である)。

まず、この暗い輪郭領域を抽出するために、原画像にLOG(Laplacian Of Gaussian)フィルタを施し、零交差画像を計算する<sup>2)</sup>。

輪郭領域は周囲に比べて暗いため、零交差画像中では正值の領域となる。そこで、零交差画像の正值領域をラベル付けする。次に、正值領域の集合の中から、面積と重心回りのモーメントを用いて(閾値処理)、輪郭領域を選び出す。

4.2 輪郭線抽出

4.1の方法で抽出した輪郭領域には、リベットの上面の色むらや板材の汚れ等(欠陥ではない)の原因及びLOGフィルタの性質により、本来の輪郭領域以外の暗い領域(突起状)も含まれている(図2)。これらの突起状の領域は、径の計測や割れの検出に障害となるため、以下の手法により除去する。

まず、抽出した円環状の輪郭領域の境界線追跡を行い、外側と内側の2つの輪郭線の座標列を得る。

次に、突起状の領域が、正常な輪郭部分や割れによる輪郭線の階段状の歪みに比べて細長い帯状であることを

Automated Inspection of Rivets for Airplane.  
Yoshitaka NISHIYAMA<sup>1</sup>, Yuji KUNO<sup>1</sup>, Tsunetoyo SAKAMOTO<sup>2</sup>, Hiroyuki JIKEI<sup>3</sup>  
1 Oki Electric Industry Co., Ltd., 2 Oki Technosystems Laboratory Inc.,  
3 Mitsubishi Heavy Industries Ltd.

利用して、図3に示すように、ある点Aからの直線距離が $r$ （あらかじめ与える）で、かつ、点Aとの間の輪郭線の長さ $L$ （画素数）が最大となる点Bを求める。このとき、長さ $L$ が閾値より大きければ、点AB間の輪郭線を突起として検出/除去し、その間を直線で補間する。



図2 輪郭線

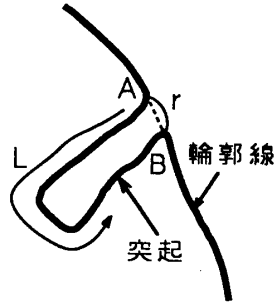


図3 突起部分

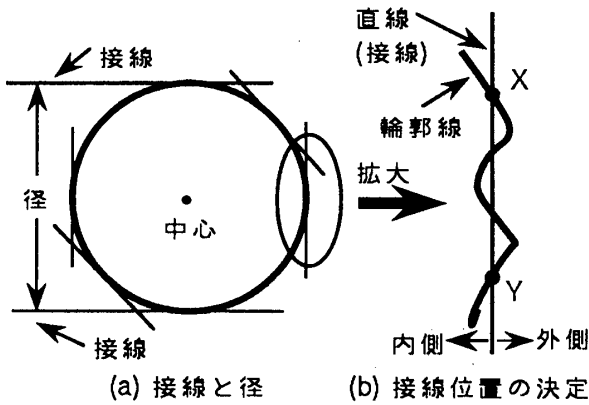


図4 径の計測法

4.3 径の計測

外側の輪郭線に対して8方向の接線（各方向2本づつ）を求め、同一方向の2本の接線間距離をその方向の径とする（図4(a)）。その際、局所的な輪郭線の歪みの影響を考慮して、接線となる直線の位置を次の様に決定した。

すなわち、直線と外側輪郭線の交差区間XYの長さを $D$ 、区間XY上の輪郭線の画素数を $N_1$ 、そのうち直線の外側（円形状の輪郭線の中心から見て）にある画素数を $N_2$ とすると（図4(b)）、直線の位置は、以下の2つ判定条件を満たすように決定される（ $d$ と $n$ は閾値）。

$\bigcirc D > d$                        $\bigcirc N_2/N_1 > n$

径の大小は、8方向の径のうちの最大径が、許容値内にあるか否かで判定される。また、形状の歪みは、直交する2つ方向の径の比（短径/長径）が、すべて許容値以下であるか否かで判定される。

4.4 割れ検出

(1) 割れモデル

2で述べたように、ひび割れが発生すると内側の輪郭線が階段状に歪む。そこで、その階段状の歪みを、2つのコーナー $C_1$ と $C_2$ （逆向き）でモデル化する（図5）。

そのモデルは、コーナーの大きさ $k$ （あらかじめ与える画素数）、 $C_1$ と $C_2$ の角度 $A_1$ と $A_2$ 、 $C_1$ と $C_2$ 間の画素数 $M$ 及び両コーナーの傾き $A_3$ の5つのパラメータで表現される。

(2) モデルとの照合

前述のモデルに適合する部分を、内側の輪郭線上で見つけるために、まず、輪郭線の $k$ 曲率（角度 $A_1$ と $A_2$ に対応）を用いて連続するコーナー $C_1$ と $C_2$ を検出する。次に、コーナー間の画素数 $M$ と角度 $A_3$ を計算し、割れを検出する。図6は検出された割れ（○印）を示している。

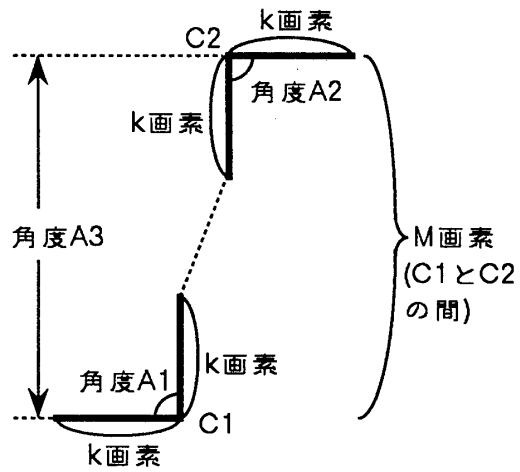


図5 割れのモデル

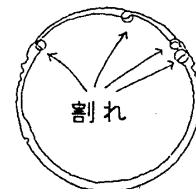


図6 割れの検出結果(○印: 割れ)

5. おわりに

本論文では、航空機用リベットの自動外観検査システム用に開発された欠陥検出方式について述べた。

今後の課題として、以下の改良を行なう予定である。

- 割れの探索/判定を行うための、より多くの検査員知識の利用による正解率の向上。
- 処理の高速化。

謝辞

日頃から御指導いただいている椎野努三重大学教授に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 井口征士: 目視検査における画像処理技術, 電気学会全国大会シンポジウム, S.15-1 (1989) .
- 2) 白井良明: パターン理解, pp.14-15, オ-ム社(1987)