

機械小物鑄造品仕分けへの振動応答解析の適用*

藤田尚毅^{*1}, 佐藤 正^{*1}, 千葉正克^{*1}
佐藤清忠^{*2}, 伊藤光博^{*1}, 木村錦昭^{*3}

Application of Vibration Response Analysis to a Classification of Cast Iron Products

Naotake FUJITA, Tadashi SATO, Masakatsu CHIBA,
Kiyotada SATO, Mitsuhiro ITO and Kaneaki KIMURA

Vibration response analysis is applied to a classification of cast iron products. We have studied the correlation between the mass and the natural frequency of the products. The test pieces used here are some types of water pump impellers for automobiles. It is difficult to manually classify many kinds of impellers which have similar configurations and dimensions. We have found that the frequency characteristic of test pieces, which depends on the rigidity of a disk part, can be used for the classification. As a result, we have made a characteristic map on the mass-natural frequency plane of the products, which facilitates classification.

Key Words: Experimental Study, Cast Iron Products, Classification, FFT Analysis, Vibration Response

1. 緒 言

他分野に比べて遅れていると言われていた鑄物工場でも、溶解・造型・砂処理などの各工程に必要な機械設備が投入され自動化が進んできている⁽¹⁾。しかし中小規模の鑄物工場では型ばらしや砂落とし以降の工程に対しては、自動化がほとんど進んでいないのが実状である。機械小物鑄造品の生産は多品種・中量生産される場合が多いが、この製品が型ばらしされてショットプラストにバッチでかけられると、数～十数品種の製品が混在してしまう。最近、製品の重量と画像処理による形状認識を用いた自動仕分け装置が開発された例もあるが⁽²⁾、自動化された装置が実際に工場に導入された例は非常に少なく、ほとんどは人手による仕分けに頼っている。

これとは別に、物体はその材質や形状の違いによりその物体固有の振動数と減衰係数を有する。この性質を利用したものに、物品の良否を判別する方法として物品を打撃したときの音(物体の振動)による判別方法

があり、マンホール鉄蓋の劣下診断などに応用されている⁽³⁾。

本研究では、以上のような観点から機械小物鑄造品を自動的に分類できるようにすることを目的に、鑄造品を打撃や電磁的方法により振動し、その振動特性を明らかにし、製品種類や重量との基礎的関係を調べるものである。

2. 実験装置および方法

2・1 試験片 機械小物鑄造品には非常にたくさんの種類があるが、この実験では試験片として、平面形状が円形をした自動車エンジン用冷却水ポンプのインペラ、センタおよびフランジを使用した。このような形状品は直径や投影面積が類似しており、画像認識などで分類することが困難になるからである。

図1に、試験片として用いた鑄造品のうちでインペラタイプとフランジタイプの代表的なもののスケッチを示す。試験片はベース円盤部中心にボスがついており、インペラタイプはさらに図のようにボス周辺にフィンがついた形状をしている。表1に、用いた試験片の平均諸元を示す。ここで試験片は同一種類について2個ずつ用い、各値の平均値を示した。

2・2 加振および計測法 試験片の加振には、打

* 原稿受付 平成2年1月12日。

^{*1} 正員、岩手大学工学部 (〒020 盛岡市上田4-3-5)。

^{*2} 一関工業高等専門学校 (〒021 一関市萩庄高梨)。

^{*3} 岩手大学工学部。

撃による方法と電磁加振法の2通りの方法を用いた。実験装置概略をそれぞれ図2(a)および(b)に示す。打撃加振の場合、試験片はできるだけ境界条件を自由にして他の影響を防ぎ自由振動をさせるために、ボス部を糸とスプリングを介してスタンドから吊り下げた。試験片に生じた振動は圧電形加速度ピックアップ(質量0.8g)を粘着剤にて試験片中央部に張り付けて計測した。加速度ピックアップの出力はFFTアナライザで計測し、周波数分析を行った。試験片の加振にはモーダル解析試験用のインパルスハンマ、鋳物製小形ハンマおよび直径10.95mm、質量5.6gの鋼球を用いた。ハンマ使用の場合は吊り下げた試験片を人手によってたたいた。また鋼球の場合は加振力を一定にするために鋼球を糸で吊し、振子の運動により試験片に衝突させた。

図2(b)の電磁加振法では、低周波発信器から出力される正弦波を高周波増幅電源に通し、この出力を励

磁コイルに入れる。励磁コイルは直径115mmの塩化ビニールのポビンに線径0.8mmのホルマリン線を18回巻いたもので、インダクタンスは約0.8mHであった。このインダクタンス値は高周波増幅電源の駆動能力に合わせたもので、±1Aで100kHz付近まで駆動できるようになっている。共振特性を測定する際は試験片のボス部を旋盤用三爪チャックで固定し、その周りに励磁コイルが試片の円盤部と平行になるように設置して行った。

3. 実験結果および考察

3.1 振動数解析と質量の関係 打撃加振による応答振動波形と応答の周波数スペクトラムの例を図3に示す。これは表1のNo.7試験片に鋼球を衝突させた場合である。図3(a)では、鋼球が試片に衝突した瞬間から振動が始まり次第に減衰している。図3(b)から、このときの振動波形に含まれる周波数成分は7.75kHzが最も大きい(周波数分解能250Hz)。これを最大ピーク振動数 F_m とする。鋼球の代わりにモーダル解析用ハンマ等で打撃しても応答振幅は変化するものの F_m 値については変化がなかった。またピック

表1 試験片平均諸元(単位:質量g,寸法mm)

No	品名	質量	全高	外径	ボス径	備考
1	インペラー	282	25.7	66.0	30.2	フィン数6
2	インペラー	478	34.0	75.4	25.9	フィン数7
3	インペラー	323	30.4	77.6	23.1	フィン数6
4	インペラー	646	32.3	79.9	28.3	フィン数6
5	インペラー	460	46.2	83.3	32.4	フィン数6
6	インペラー	378	29.6	83.5	30.3	フィン数6
7	インペラー	372	26.2	84.8	30.7	フィン数6,マーク
8	インペラー	406	30.2	84.8	30.6	フィン数6
9	インペラー	624	29.2	89.9	37.3	フィン数6
10	インペラー	604	35.4	100.5	31.6	フィン数7
11	インペラー	528	32.3	102.0	32.3	フィン数7
12	インペラー	1026	45.2	118.5	31.0	フィン数7
13	インペラー	1161	65.9	128.6	33.5	フィン数6
14	インペラー	956	41.8	130.7	35.3	フィン数8
15	センター	341	22.9	69.3	35.0	
16	センター	362	23.8	72.7	34.4	2段ボス
17	センター	377	29.7	77.0	34.4	2段ボス
18	フランジ	191	20.4	80.8	40.8	通し穴
19	フランジ	470	26.8	73.0	40.1	

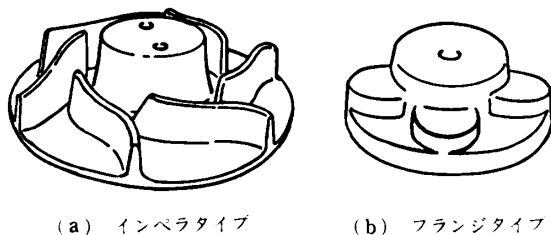
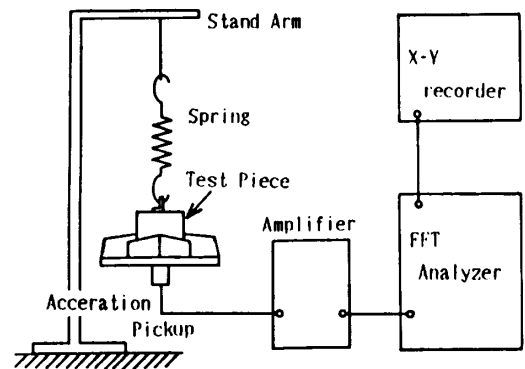
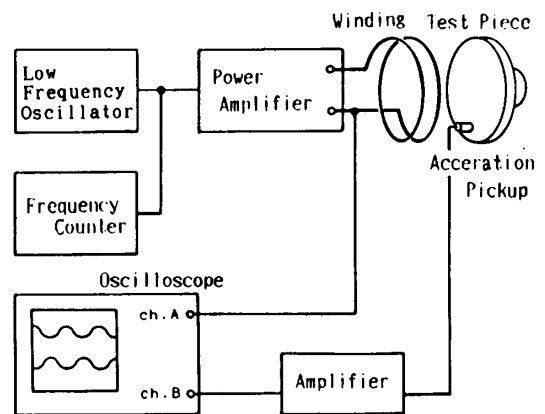


図1 試験片形状概略



(a) 打撃加振法



(b) 電磁加振法

図2 実験装置概略

アップ取付け位置を試験片中心部付近にしておくと、打撃する位値による F_m の変化はほとんど見られなかった。

試験片の種類を識別するための最も簡単な方法として、その質量を測定する方法が一般に用いられている。ここで表1の試験片についてその質量と最大ピーク振動数 F_m との関係を図4に示す。ただし No. 19 は $F_m=21$ kHz となったので図からは除いてある。ここで用いた試験片は質量が 300~600 g の領域に多く分布しており質量のみでは判別できない場合でも、 F_m との関係をとることにより分類可能となる。しかし鋳物製品は質量にばらつきがあるために振動数や質量が異種製品でもオーバーラップする場合がある。ここで実験に用いた鋳物製品でも、No. 7 と No. 8 は外径が同じで、ボスの高さが No. 8 のほうが約 4 mm 高くなっているだけでありオーバーラップしていた。実際、現場の工場においても人手によってこの両者を判別することは困難であるので、No. 7 のほうに識別用のマークとして直径約 8 mm のくぼみを2個、ボスの頂部に入れてある [図1(a), 表1]。

No. 7 と No. 8 の分布の状態を詳しく見るために各々の製品を任意に 100 個ずつ取り出して、質量と最大ピーク振動数をプロットしたのが図5である。ここで質量は 0.1 g、振動数は No. 7 について 50 Hz、No. 8 については 125 Hz の分解能で読取った。このデータの分散は質量と振動数の二次元正規分布となってお

り、危険率はそれぞれ 5% と 2% であった。質量および振動数のデータとも重なりあっているが直交座標上にプロットすることにより両者を完全に分離することができる。

3・2 電磁加振法によるスペクトルの抽出 打撃加振は、すべての振動数成分を含んだものが試験片に加えられ、その中で共振したものだけが応答振動として出てくる。ここではさらに電磁加振を用いて周波数応答曲線を測定することにより固有振動数を求めた。この方法では試験片の有する固有振動数を打撃加振法よりも詳しく調べることができる。図6に No. 7 の試験片について加振振動数と加速度ピックアップ出力の

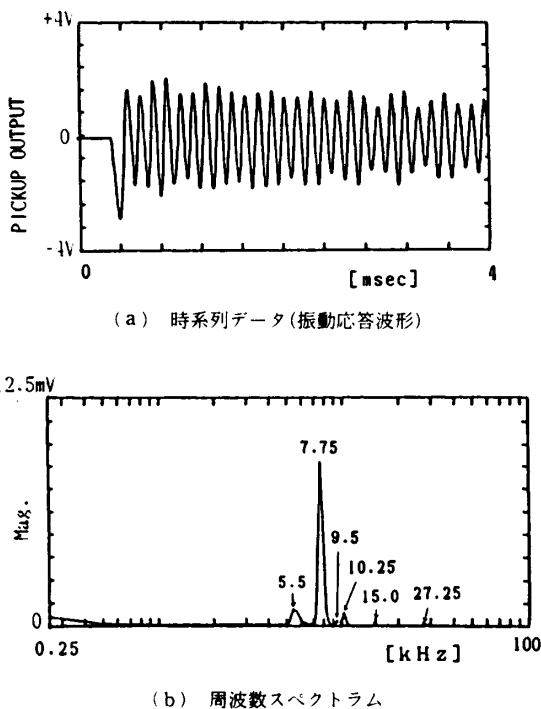


図3 振動応答波形の測定例(試験片 No. 7, 鋼球加振)

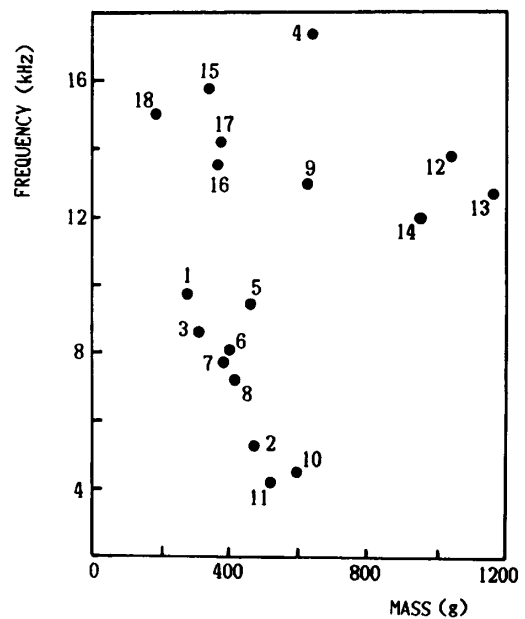


図4 最大ピーク振動数と試験片質量との関係 (試験片全体について)

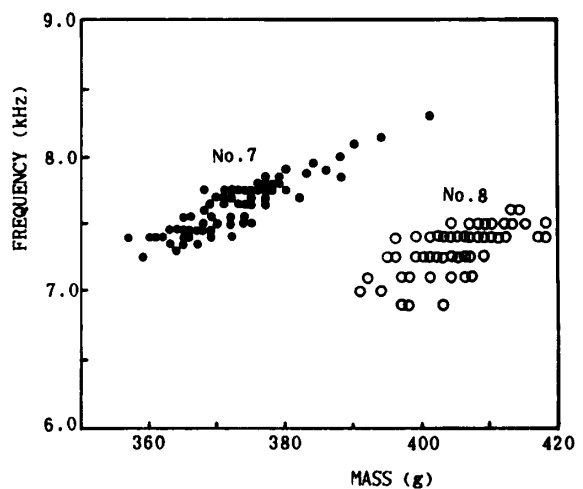


図5 最大ピーク振動数と試験片質量との関係 (試験片 No. 7 と No. 8)

関係を示す。ピックアップは試験片円盤部中心に取付けられ、励磁コイルを2 A電流で正弦波駆動している。打撃加振法よりもはっきりとした振動数ピークを示している。

電磁加振法によると、加速度ピックアップの取付ける位置を変えることによって、抽出されるスペクトルが試験片のどの部分によるものであるかをある程度推定できる。図7は特定の振動数で電磁加振された試験片の円盤部面上の振動位相分布を表したものである。細い破線は試験片反対面についているボス部と6枚のフィン位置を表す。ボス部周囲の3個の三角形はボス部を固定しているチャック位置を表す。同心円上の太い破線は、試片を基本周波数8.13 kHzで駆動したときに生じた振動の節を表す。これはピックアップ(直径6 mm)の接触面積がある程度あるので正確には観察できないが、その振幅が零または最小となる位置である。ここで位相とは駆動電流波形に対する位相差のことで、円盤中心部でのピックアップ出力の位相差を仮に零度であるとすると、円盤の縁付近では約-180度となる。さらに図7のハッチング部は試験片を26.0 kHzで共振させたときの位相分布状態を示す。すなわち実線の部分を境界としてハッチングと無地の部分とで反対方向に振動をしているものとみなせる。

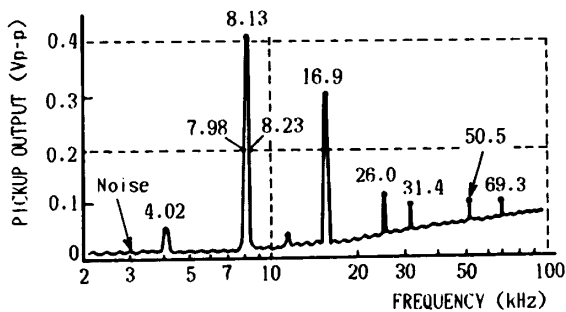


図6 電磁加振法による周波数応答例(試験片 No. 7)

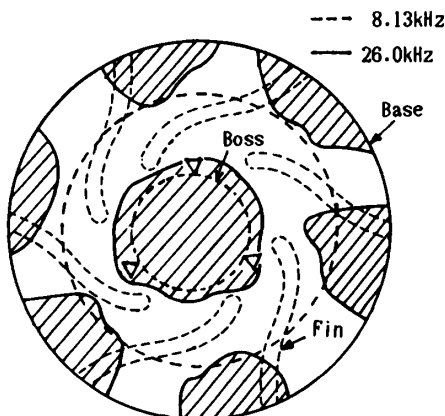


図7 振動位相分布図(試験片 No. 7, 電磁加振)

3・3 モデルとの比較 次に図8に示すような中心固定・周囲自由の円環板モデルを考える。このモデルの固有振動数 f (Hz) は次のように与えられる⁽⁴⁾。

$$f = \omega / (2\pi) \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega = R / (a^2 \sqrt{\rho h / D}) \dots\dots\dots (2)$$

$$D = Eh^3 / \{12(1 - \nu^2)\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで R は振動パラメータで、 b/a の値に対して図9のように与えられる。図中の n および s はそれぞれ円板の振動モードを表す節直径と節円の数である。また E, ν, ρ は材料の物性値であり、モデルの計算では鋳鉄の代表的値として次のような値を用いた。

ヤング率: $E = 120$ [GPa]

ポアソン比: $\nu = 0.25$

密度: $\rho = 7.7 \times 10^3$ [kg/m³]

これらの値を用いて、式(1), (2), (3)を整理して R について表すと

$$R = 5.34 \times 10^{-3} a^2 f / h \dots\dots\dots (4)$$

フィンを見做して試験片 No. 8 の一つ ($a = 41.4$ mm, $b = 15.4$ mm, $h = 5.9$ mm, $f = 7.3$ kHz) について、ペー

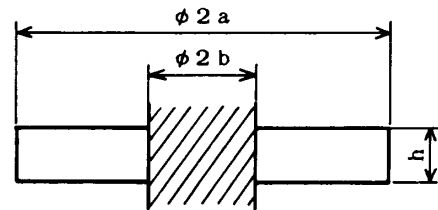


図8 円環板モデル

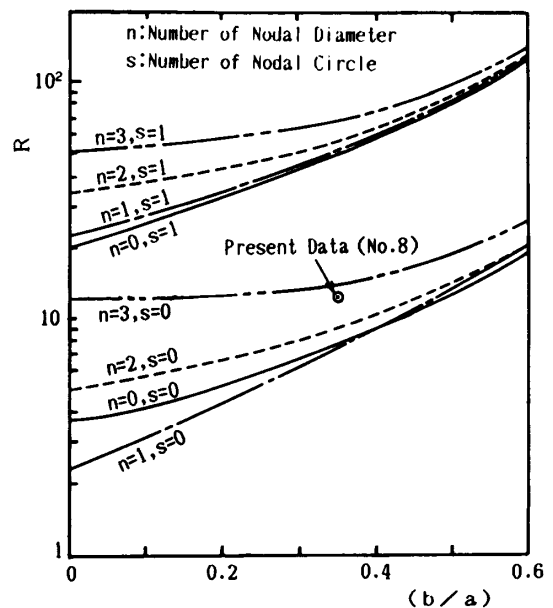


図9 振動パラメータ R に及ぼす (b/a) の影響

ス円板部の振動パラメータを鋼球加振で得られた振動数から求めてみると、 $R=11.3$ となり図9に示すようになった。図9と式(4)から、材質が同じならば円盤の厚さが厚いほど、外径が小さいほど、そしてボス径が大きいほど固有振動数は高くなることがわかる。

次に試験片 No. 8 について、ベース部厚さを約 1 mm ずつ切削した場合の鋼球加振による振動数 F_m の変化を図 10 に示す。右端のデータ ($F_m=7.25$ kHz) が切削する前の値である。比較のために円環板モデルの値を破線で示した。円板部の厚さが減少して行くにつれて振動数も減少しているがフィンの影響で円環板モデルよりは減少の割合が小さい。ベース部外周を切削した場合は振動数が増加し、ボス部直径を切削した場合には振動数が逆に減少し、円盤モデルの特性と同様の傾向を示した。フィンを高さ方向に切削した場合はあまり変化が見られず質量は切削した分減少するものの、振動数は変化しないという結果となった。このことから試験片の固有振動数は試験片ベース部の形状に大きく影響されることがわかる。

以上のことを踏まえて再び図5について考察を加える。試験片の振動数・質量の分布はいずれも右上がりの長円形分布をしており、特に試験片 No. 7 のほうが細長い分布をしている。試験片 No. 7 のグループについてベース部厚さを測定したところ、厚さの最大と最小で約 0.6 mm の差があった。これをベース部の質量に換算すると約 26 g となる。またベース部外径の寸法の差は 0.1 mm 以下であったので質量換算で 1.2 g となる。ベース部、ボス部、フィン部の各寸法を測定し体積割合を調べたところ、それぞれ全質量の約 50%、30% および 20% となり、ベース部の質量が最も大きかった。また試験片 No. 8 に付いていたバリの質量を、任意の 50 個を取り出してそれを削り取った後の質量との差から調べた。平均バリ質量は 0.69 g で、これは試験片の平均質量 406 g の約 0.17% にしか相当せず、試験片質量のばらつきに対してほとんど影響を与えていないことがわかる。

以上のことから、図5の No. 7 試験片のように右上がりの細長い長円形分布をしている場合は、試験片ベース部肉厚値に分散が大きくあり、No. 8 のように円形に近い場合ほど、ボス部やフィン部にも均一に分散しているといえる。このことから鋳物製品質量の偏りがどの部分によるものであるかを推定することができ、品質管理等にも適用できるものと思われる。

4. 結 論

振動応答解析法を生産工程のラインにおける製品の

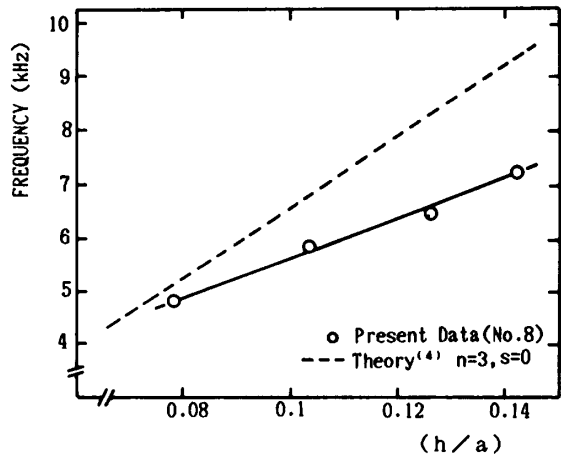


図 10 試験片厚さを切削加工した場合の振動数の変化 (試験片 No. 8, 鋼球加振)

自動認識・分類に適用することを目的に、機械小物鋳造品を例に取って、振動特性に関する基礎的な研究を行った。その結果、円盤部をベースに有するような製品の振動特性について、次のようなことが明らかになった。

(1) 振動応答解析による応答スペクトラムの最大ピークを示す振動数と、その製品の質量を組合せることにより、人手による識別が比較的困難なものでも、製品分類のための認識は可能である。

(2) 最大ピークを示す振動数はベース部の形状に依存する。すなわち厚さが厚くなるほど、外周が小さくなるほど高い振動数を示す。

(3) 鋳物製品には質量のばらつきがあるが、バリによる影響は少なく、各部分の寸法精度がより大きな影響を与える。

(4) 最大ピークを示す振動数と質量の相関を調べることにより、製品質量の偏りがどの部分の質量によるものであるかを推定することができ、品質管理に有用なデータとなり得る。

本研究は、昭和 62 年・63 年度岩手県高度技術振興協会からの補助金の一部によって行った。記して謝意を表す。

文 献

- (1) 佐伯・板野, 鋳物, 61-6(1989), 375.
- (2) 千々岩, 小物鋳造品自動仕分装置公開普及説明会資料, (1989), 中小企業事業団.
- (3) 三谷・本庄, 機誌, 92-842(1989), 45.
- (4) Leissa, A. W., Vibration of Plates, NASA SP-160, (1969).