

839 超音波後方散乱波のウェーブレット解析による材料欠陥評価

Flaw Evaluation by Wavelet Analysis of Scattering Ultrasonic

○正 西野 精一 (富山大工)
 稲吉 文雄 (富山大院)
 川上 智毅 (北陸電力)

正 塩澤 和章 (富山大工)
 新基 博之 (北陸電力)
 正 林 義忠 (北陸電力)

Seiichi NISHINO, Kazuaki SHIOZAWA, Fumio INAYOSHI, Toyama University, Gofuku, Toyama, 930-8555
 Hiroyuki SHINJIN, Tomoki KAWAKAMI, Yoshitada HAYASHI, Hokuriku Power Company, Hisakata-machi, Toyama

Nondestructive evaluation method of the density and mean diameter of pore in the material using wavelet analysis of scattering ultrasonic waves was developed. The relationship between ultrasonic characteristics (noise energy and center of the frequency) and pore characteristics (diameter and density) was determined by numerical calculations. From the experimental results, it was found that the pore characteristics can be evaluated from the wavelet analysis of scattering ultrasonic.

Key Words: Non-destructive Evaluation, Ultrasonic, Wavelet, Pore density, Sintered Material.

1. 緒言

超音波法は材料内部の欠陥や損傷を非破壊的に評価できる有力な方法として研究、開発が行われている。従来、超音波を利用した欠陥評価法としては、材料底面からの反射波の解析により得られる音速や減衰率、周波数解析結果等を利用する方法¹⁾や、材料内部の欠陥からの後方散乱波を周波数解析して求めたノイズエネルギー等をパラメータとする方法²⁾が提案されている。これらの方法は超音波が通過した領域の平均的な欠陥密度等の情報を得るというものである。実際の構造物の場合、欠陥が存在または発生する箇所は溶接部や応力集中部等であるため、欠陥が局所的に存在したり、分布が不均一あると考えられる。従って、欠陥密度の分布に関する情報も含んだ欠陥評価法の検討も必要であると考えられる。ウェーブレット解析は時間的情報を失うことなく周波数解析を行うことができる信号処理方法であり、本方法を超音波解析に利用することにより欠陥密度等の分布を考慮した評価の可能性があると考えられる。

本研究では超音波の後方散乱波をウェーブレット解析することによる欠陥評価法の開発を目的に、数値解析により平均欠陥直径および密度と後方散乱波の周波数特性の関係を求め、同関係に基づく粉末焼結体の評価について検討した。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材 本研究で用いた供試材は表1に示す化学組成の Al-Si 合金粉末焼結体である。粉末の平均粒径は 85 μ m であり、ホットプレスにより相対密度 99.56% から 83.56% の 13 種類の供試材を用意した。同材の金属顕微鏡写真を画像処理することにより求めた欠陥の平均直径は 2 μ m から 30 μ m であり、相対密度の低下に伴い大きくなっている。超音波計測に用いた試験片は直径 9mm、長さ 10mm の円柱状のものである。また、欠陥密度が不均一である状態を模擬するため、低密度の材料 (相対密度 87.58%) と高密度の材料 (相対密度 99.02%, 98.70%) を拡散接合した材料も用意した。

2.2 実験方法 後方散乱波の計測は 20MHz の縦波用探触子を用いて水浸法で行った。水浸距離は 8mm とし、超音波波形の計測はデジタルオシロスコープによりサンプリング間隔 2ns で行った。後方散乱波解析は、表面波及び底面波の影響の影響を避けるため、表面波計測時から 600ns 後から底面波計測時の 100ns 前までの範囲で行った。また、ウェーブレット解析には時間一周波数解析に適している点から Gabor 関数を用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 数値解析結果 向井ら³⁾は試験片表面から x の距離に存在する散乱体からの後方散乱波の角周波数 ω の成分 $P(x, \omega)$ は次式で与えられるとしている。

$$P(x, \omega) = D \cdot P_0(\omega) \sqrt{\left(\frac{d\gamma}{d\Omega}\right)_{Lx}} \cdot \exp(-2\alpha x) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 $P_0(\omega)$ は入射波の角周波数 ω の成分、 $d\gamma/d\Omega$ は微分散乱断面積、 α は減衰率、 D は定数である。本研究では、欠陥形状を球状として後方散乱波に対する微分散乱断面積を求め、減衰率は欠陥による散乱と粒界散乱とを考慮して算出した⁴⁾。

式(1)に基づき種々の欠陥直径と密度に対する後方散乱波の数値計算を行った例を図1に示す。図中、 N の値は単位体積 (m^3) あたりの欠陥数を示す。図より欠陥直径及び密度の変化に対応して後方散乱波の強度及び周波数特性が変化することがわかる。

後方散乱波の周波数解析結果から欠陥の直径及び密度を推定するため、同図の面積として定義したノイズエネルギーおよび重心周波数と欠陥直径及び密度との関係について検討した。図2に種々の欠陥密度に対するノイズエネルギーと欠陥直径との関係を示す。図よりノイズエネルギーは欠陥直径の増加に伴い増加後減少することがわかる。ここでは、数値解析結果を図中の曲線で示すような正規分布曲線で近似し、欠陥直径 d 及び N とノイズエネルギー E との関係とし

Table 1 Chemical compositions of tested material (wt. %).

Si	Cu	Fe	Zn	Al
10.45	2.13	0.775	0.534	bal.

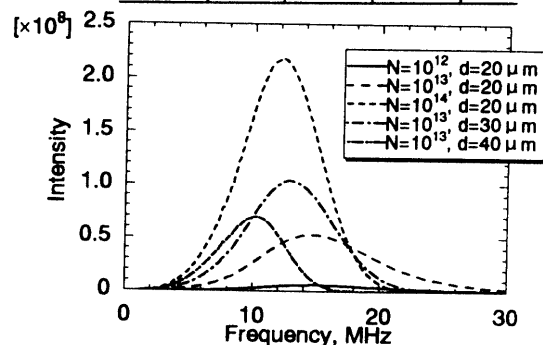


Fig.1 Numerical solution of the scattering spectrum for various density and diameter of pore.

て次式を得た

$$E = \frac{3.79 \times 10 D_1 \cdot N^{0.41}}{\exp \left[\frac{(d - 1.57 \times 10^{-2} N^{-0.22})^2}{1.89 \times 10^{-4} N^{-0.47}} \right]} \quad \dots (2)$$

ここで、 D_1 の値は実験結果との対応から 8.42×10^{-9} とした。

後方散乱波の重心周波数と欠陥直径との関係を図3に示す。重心周波数は欠陥直径の増加に伴い低下することがわかる。ここでは、後方散乱波の重心周波数と表面波のそれとの差 ΔG と欠陥直径 d および N との関係を次式で近似した。

$$\Delta G = D_2 (N^{0.63} d^4)^{D_3} \quad \dots (3)$$

ここで、 D_2 及び D_3 の値は実験結果との対応からそれぞれ 3.78×10^{-11} , 0.24 とした

3.2 後方散乱波解析ウェーブレット解析結果 図4に実験で得られた後方散乱波と同波形のウェーブレット解析で得られた各時間における Scale とウェーブレット係数との関係を示す。ここで、Scale とウェーブレット係数との関係は、周波数と強度の関係に対応する。図より後方散乱波の周波数特性が時間により変化していることがわかる。

ウェーブレット変換結果から式(2)および式(3)により求めた各時間に対する欠陥直径及び相対密度の推定結果を図5に示す。図中の実線はそれぞれ画像処理またはアルキメデス法で求めた値である。図より推定した欠陥直径及び相対密度の値は時間すなわち表面からの距離により変動が見られるが、それぞれの実測値とほぼ対応していることがわかる。また、各推定値の変動量は相対密度が低い材料ほど大きくなる傾向が認められる。これは低密度の材料の場合、欠陥直径が大きいため、位置による密度の変化が大きいためであると考えられる。

図6に高密度の材料と低密度の材料とを拡散接合した材

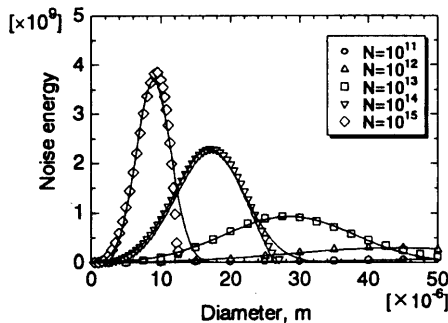


Fig.2 Relationship between noise energy and pore diameter for various pore density.

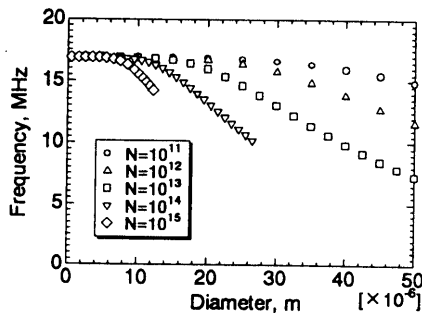


Fig.3 Relationship between center frequency of scattering ultrasonic and pore diameter for various pore density.

料の後方散乱波ウェーブレット解析により推定した欠陥および密度の推定結果を示す。図中の実線は実測値である。図より相対密度の変化に対応して欠陥直径及び密度の推定値が変化していることがわかる。以上のことから、後方散乱波のウェーブレット解析を行うことにより、欠陥直径や密度の推定及びそれらの材料の深さ方向の分布推定ができる可能性があると考えられる。

結言省略

参考文献

- (1) 岡崎正和, 橋本昌光, 材料, 41-471(1992), 1729-1735.
- (2) 中代雅士, 米山弘志, 芝田三郎, 大友曉, 耐熱金属材料第123委員会報告, 30-2(1989) 131-143.
- (3) 向井一弘, 吉村剛, 末次純, 今中拓一, 塩谷政博, 日本非破壊検査協会平成7年度秋季大会公開要集, (1995), 129-134.
- (4) 向井一弘, 今中拓一, 工業材料, 42-12(1994), 126-131.

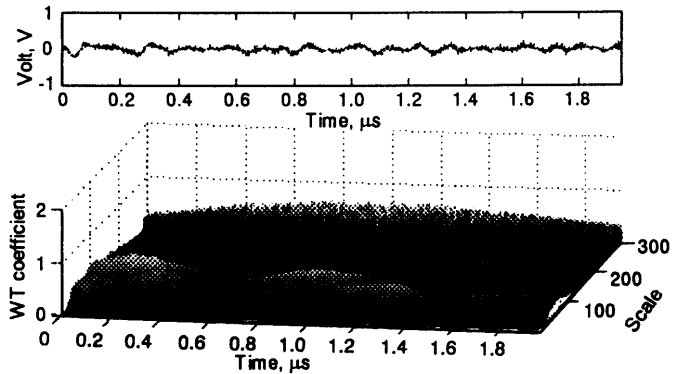


Fig.4 Example of scattering ultrasonic and the result of wavelet transformation.

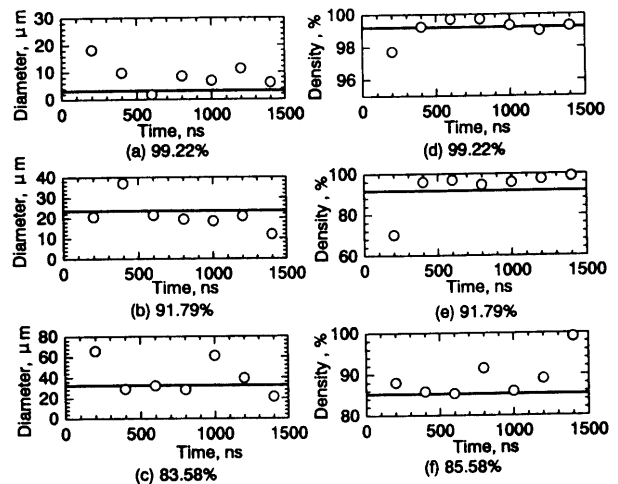


Fig.5 The pore diameter and density estimated with wavelet analysis of scattering ultrasonic of sintered material.

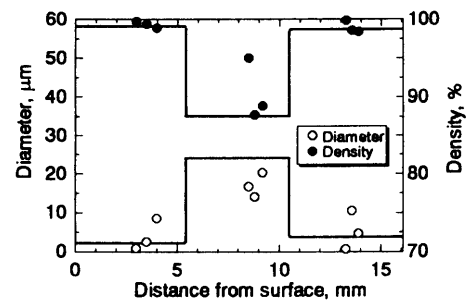


Fig.6 The pore diameter and density estimated with wavelet analysis of scattering ultrasonic of diffused jointed material.