

AE 振幅分布のフラクタル次元を用いた材料の均質性評価法

奈良工業高等専門学校 電子制御工学科 ○三上 拓朗 ◎西田 茂生

要旨

With the development of advanced technology, high-strength and high-conductivity material is expected, and superior material homogeneity is required. We propose a non-destructive and quantitative evaluation method of material homogeneity using a fractal dimension of acoustic emission wave amplitude distribution. The better homogeneous material becomes, the higher fractal dimension is acquired. Experiments proved our hypothesis. And it is efficient for material homogeneous evaluation to use a fractal dimension of AE wave amplitude distribution.

1. 緒言

物理学での研究が中心であった「フラクタル」という概念は、今や工学分野に応用されつつある。^[1]
 近年、最先端技術の発展により高強度・高伝導性な材料が求められている。その際、材料が均質であることが重要である。そこで、材料の定量的かつ非破壊的な均質性評価法を提案する。本手法では、人為的な AE 波を発生させ、その AE 振幅分布のフラクタル次元を求める。AE とは、材料内で発生した微視的な欠陥に伴って、内部で蓄積されたエネルギーが開放されることにより放出される微小弾性波のことである。均質な材料であればある程、得られる AE 振幅分布のフラクタル次元が大きくなると考えられる。この手法の実現により、非破壊的かつ迅速に、手軽に、均質性の解析を行うことができ、材料の研究開発の一助となる。

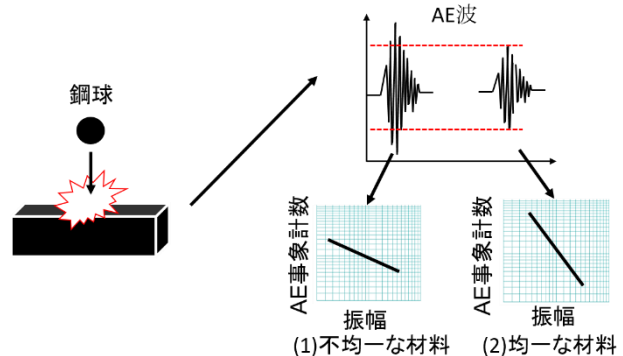


Fig.1 Hypothesis

2. 原理

2.1 フラクタル

積乱雲や海岸線といったものは、特徴的な長さを持たず、不規則である。このように、フラクタルとは特徴的な長さを持たないような図形や構造、現象などの総称である。もちろん AE という現象にも適用可能である。フラクタルは完全に滑らかさを否定している。つまり、微分を定義できないような形を取り扱うことを意味している。フラクタルの考え方の基本は「特徴的な長さのなさ」あるいは「自己相似性」にある。

2.2 AE 振幅分布とフラクタル分布

AE 振幅分布とそのフラクタル次元について説明する。まず、AE 振幅分布とは、個々の AE 信号波形の最大振幅に関する頻度分布のことを示す。振幅が増加するにつれて事象数が指数関数的に減少する。このとき、その振幅の分布は以下のようなべき乗則分布となる。^[2] ここで、 x は AE 振幅値、 $f(x)$ は AE 事象数である。

$$f(x) = ce^{-m} \quad (1)$$

(1) 式の両辺の対数をとると次式となる。

$$\log f(x) = -m(\log x) + \log c \quad (2)$$

ここで、 m をフラクタル次元と呼ぶ。 m は材料によって異なる値を持つため、その値を知ることで AE 波を定量的に評価できる。フラクタル次元 m は変形性起因では約 2 以上の値、破壊性起因の AE では約 2 以下の値をとる。また、Table1 に AE の振幅に及ぼす諸因子を示す^[3]。Table1 より、同一の衝撃を与えた場合、不均質なほど AE 波の振幅が大きくなる。よって、仮説として、Fig.1 に示すように、均質材料に比べて不均質材料のフラクタル次元 m のほうが小さい値になると考えられる。

Table1 Various factors on the AE wave amplitude

影響因子		AE の振幅	
		大	小
試験材 の性質	強さ	高い	低い
	組織	鋳造材	鍛錬材
	結晶粒	大きい	小さい
	厚さ	厚い	薄い
	均質性	不均一	均質

3. フラクタル次元解析プログラムの作成

フラクタル次元を求めるプログラムを作成した。アルゴリズムは以下のとおりである。また、アルゴリズムのフローチャートを Fig.2 に示す。

- ①測定データを読み込む
 - ②電圧値の振幅幅($x \sim x+dx$)を設定し、振幅幅内に含まれる AE 事象数をカウント
 - ③振幅幅を変更し、AE 事象数 $f(x)$ をカウント
 - ④②から③を AE 波の最大振幅値まで繰り返す
 - ⑤振幅幅 x と AE 事象数 $f(x)$ との関係を両対数グラフ上にプロットし累乗近似させる。近似直線よりフラクタル次元を求める。
- このプログラムの妥当性確認のため、軟鋼を引張試験機で破断させ、その間に発生した AE 波のフラクタル次元を求めた。その結果を Fig.3、4 に示す。Fig.4 の直線の傾きより、フラクタル次元は約 2.72 となった。軟鋼は、破壊に至るまで塑性変形を伴う。また、フラクタル次元は変形性起因では約 2 以上となるため、作成したプログラムは妥当である。

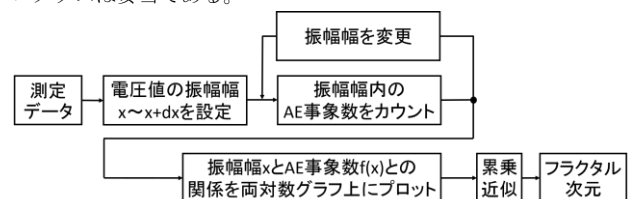


Fig.2 Programming algorithm

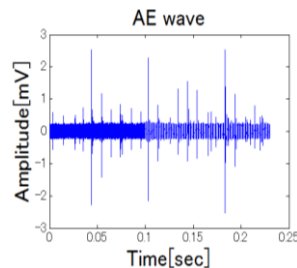


Fig.3 AE waves of mild steel

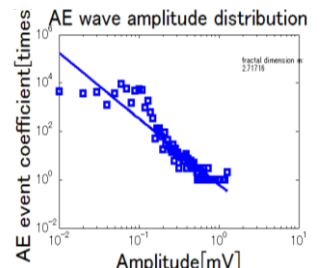


Fig.4 Fractal dimension

4. 実験結果および考察

4.1 各種材料のフラクタル次元の測定

実験手順を以下に示す。また、実験装置の概要を Fig.5、使用した材料を Table2 に示す。使用した材料の厚みはすべて同じである。
 ①試験片となる材料より 40 mm 上方から鋼球を落下させる。
 ②それぞれの材料に発生した AE 波をオシロスコープで測定し、フラクタル次元解析プログラムよりフラクタル次元を導出する。

Fig.6 にそれぞれの材料で得られた AE 波形を示し、また、それぞれの材料実験結果を Table2 に示す。実験結果より、それぞれのフラクタル次元は次のような関係になった

Acrylic plate > SUS304 > Aluminum > Glass > ZrO₂

ZrO₂ のように結晶粒にばらつきがあるような材料は不均質になりやすく、そうでない SUS304 のような材料は均質になりやすい。また、高分子材料である Acrylic plate は生成の過程で均質になりやすいため、大きなフラクタル次元が得られたと考えられる。さらにガラスは非晶質個体であるため粒界が存在せず、AE 波が伝達しやすい。結果として、不均質であると考えられる ZrO₂ より大きなフラクタル次元が得られた。よって、仮説で述べたように、均質材料に比べて不均質材料のフラクタル次元は小さくなったため、提案する評価方法は妥当であるといえる。

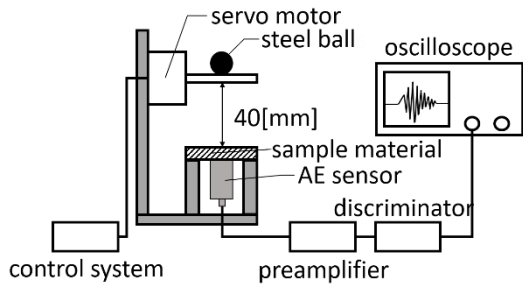
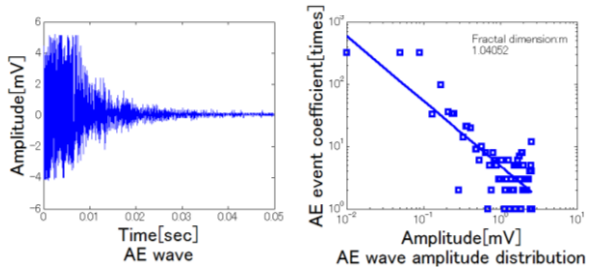
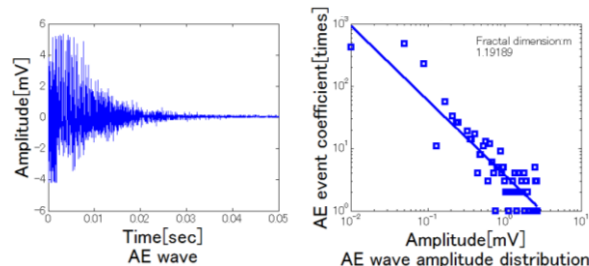


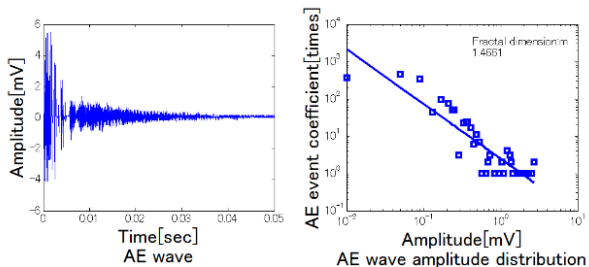
Fig.5 Experiment system



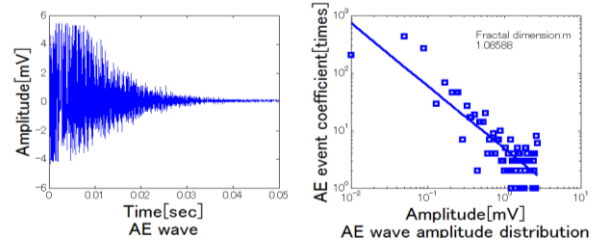
(a) Zirconia



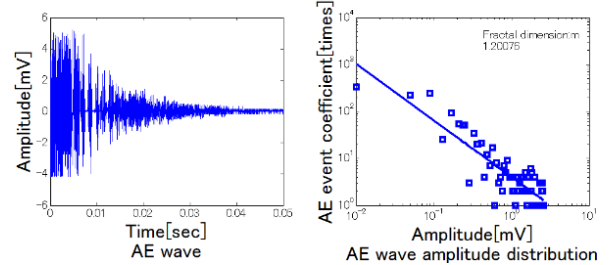
(b) SUS304



(c) Acrylic plate



(d) Glass



(d) Aluminum

Fig.6 Experiment results

Table2 Fractal dimension of various method

	Fractal dimension (ensemble average)
SUS304	1.21±0.03
ZrO ₂	1.05±0.04
Acrylic plate	1.47±0.04
Glass	1.09±0.05
Aluminum	1.17±0.02

4.2 同一材料の厚みにおけるフラクタル次元の違い

それぞれ厚みの違うアルミニウムの試験片を用いて、同一材料において厚みが違うフラクタル次元に及ぼす影響を調べるために 4.1 と同様に実験を行った。実験結果を Table3 に示す。結果より、材料の厚みが増すほどフラクタル次元が小さくなるのが分かった。これは、与えた衝撃に対して発生する AE 波が Fig.5 に示す AE センサに届くまでに減衰してしまうためだと考えられる。また、これは Table1 に示したように厚みにより AE 波の振幅が異なるということと一致する。よって Fig.5 のように AE センサを設置し材料ごとのフラクタル次元を比較するためには、それぞれの材料の厚みを一定にする必要があると言える。

Table3 Fractal dimension of various thickness

Thickness [mm]	Fractal dimension (ensemble average)	
	1.05	1.25±0.06
5.50	1.12±0.02	
10.3	1.07±0.03	

5. 結言

AE 振幅分布のフラクタル次元を用いた材料の均質性評価法を提案した。この方法を用いて材料の均質性が定量的に評価できることが示せた。材料が均質であるほどフラクタル次元が大きくなり、材料の厚みが大いほどフラクタル次元が小さくなるのが分かった。よって、この評価法が材料研究の新たな第一歩となる。

参考文献

[1] 高安秀樹、「フラクタル」、朝倉書店(1986)
 [2] 仲佐博裕、「アコースティックエミッションの理論と実際—非破壊検査におけるフラクタル評価法」、地人書館(1994)
 [3] 尾上守夫、「アコースティック・エミッションの基礎と応用」、コロナ社(昭和 51 年)