

圧電型AE変換子の伝達応答関数の評価とその応用について

福島高専 正 〇山ノ内 正司
福島高専 根 本 信行

1. はじめに

AE手法により破壊現象を解明する際、最も重要な問題点の1つは、検出波形の物理的意味の解釈である。一般に用いられている圧電型AE変換子は、圧電素子の共振特性を利用したものであり、高感度なAE検出能力を有しているが、入力波形とは大きく異なる検出波形を与える場合が多く、データから直接的な解釈をすることは無理があると思われる。この問題点を解決するために、近年、AE信号の定量化を行なう研究が進められつつある。1つは容量型変換子に代表される新しい変換子の開発であり⁽¹⁾、1つは、圧電型変換子あるいは、伝達媒体と変換子も含めた系の伝達応答関数の評価である。前者は受波感度に、後者は入力系の定量的把握に問題点があるとされている。

本研究は、再現性の点で優れている直接接触法を用いて逆合成積により圧電型変換子の伝達応答関数を評価し、AE信号の定量化をはかるための基礎データを得たものである。変換子への入力は、電圧印加時における圧電素子の過渡応答理論により計算を行なった。

2. 伝達応答関数の解析手法

(1). 線形システム理論： 入力 $g(t)$ に対する系の応答 $f(t)$ は、圧電素子を線形システムとみなして、次の合成積で表される。(図-1)

$$f(t) = h(t) \otimes g(t) \quad (t < 0, h(t) = 0, g(t) = 0) \dots\dots\dots (1)$$

ここに $h(t)$ は伝達応答関数である。逆に $g(t)$ 、 $f(t)$ から、系の伝達応答関数は逆合成積によって得られる。

$$h(t) = f(t) \otimes g^{-1}(t) \dots\dots\dots (2)$$

式(1),(2)は周波数領域においても等価に表現できる。

$$F(f) = H(f) G(f) \dots\dots\dots (3) \quad H(f) = F(f) / G(f) \dots\dots\dots (4)$$

周波数応答関数 $H(f)$ は、ここでは、変換子の受波感度を表わしている。

(2). 圧電素子の過渡的挙動： 前述の解析において入力 $g(t)$ を定量的に把握する必要がある。ここでは、直接接触法を採用し、送波用変換子の電圧印加時における過渡速度を入力とする。対象とした変換子905S(NF社)公称共振周波数1MHz)の内部構造を図-2に示す。この様に、異種材料で囲まれた圧電素子にインパルス電圧を印加する時、圧電効果による素子表面の速度 $\xi(t)$ は、次式で表わされる。⁽⁵⁾

$$\xi(t) = \mathcal{L}^{-1} \{ \bar{\xi}(p) \} \dots\dots\dots (5)$$

$$\bar{\xi}(p) = \frac{h_0 V_0}{Z_c + Z} \left[1 - (1+R)e^{-pX/R} + R(1+R)e^{-2pX/R} - R^2(1+R)e^{-3pX/R} + \dots \right]$$

R は、 $R = (Z_c - Z) / (Z_c + Z)$ で定義される。図-3に定数 $h_0 V_0 / (Z_c + Z)$ を省略した応答速度の様子を示す。計算に用いる材料定数を表-1に掲げる。

3. 実験概要

図-4に実験装置のブロックダイアグラムを示す。Aは送波用変換子、Bは受波用変換子で、いずれも905Sである。実験手順は、

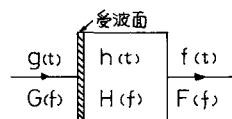


図-1 AE変換子と線形システム

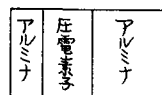


図-2 変換子の内部構造

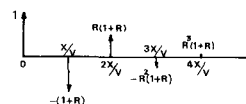


図-3 圧電素子の応答速度

表-1 材料定数

圧電素子	圧電定数 h (pC/m)	2.17×10^{-8}
	静電容量 C_0 (F)	400×10^{-12}
	機械的インピーダンス Z_c (N/m)	2266
	厚さ X (m)	2×10^{-3}
	速度 V (m/s)	3820
アルミナ	機械的インピーダンス Z (N/m)	2980

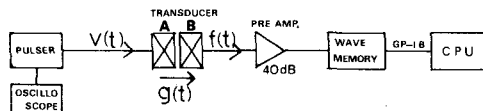


図-4 ブロックダイアグラム

(i). パルスジェネレータ (YHP社, 214A, 立ち時間 20nsec) からパルス状電圧 ($V_0 = 0.2V$) を印加する。これによる変換子Aの過渡速度 $g(t)$ を式(5)を用いて計算する。

(ii). この入力 $g(t)$ に対する変換子Bの応答波形 $f(t)$ をウェーブメトリ (NF社, WM-852) に一時記憶させ, GP-IB を介してマイクロコンピュータに取り込み, ミニフロッピーディスクに記録する。

(iii). 入力 $g(t)$ と応答 $f(t)$ から, 前述の逆合成積を行ない, 変換子Bの伝達応答関数 $h(t)$, 周波数応答関数 $H(f)$ を計算する。

4. 結果と考察

(1). 伝達応答関数: 印加電圧のパルス幅が 100 μ sec の時の入力 $g(t)$ を図-5(b)に示す。圧電素子とアルミナの機械的インピーダンスがほぼ等しいため, 応答はただちに減衰している。図-5(c)は, 入力 $g(t)$ による変換子Bの応答波形である。これらをもとに, 周波数領域における逆合成積を行なって得られた周波数応答関数 $H(f)$ の絶対値 $|H(f)|$ を図-5(d)に示す。これは, 変換子の速度に対する応答スペクトル, すなわち受波感度を表わしている。0.1 ~ 1.1 MHz ではほぼフラットな応答特性を持っているが, 比較的低周波成分に対する感度が高い。

$H(f)$ を逆フーリエ変換すれば 伝達応答関数が得られる。(図-5(e)) また, $h(t)$ は時間領域の逆合成積からも直接得られ, これとよく一致することも確認しているが, 時間領域における逆合成積時特有の発振現象を呈することや処理時間などの点から, 周波数領域によるものを採用した。

なお, フーリエ変換は高速フーリエ変換 (FFT) を用いた。

(2) 入力系の妥当性: 図-6は, 印加電圧のパルス幅を 1 μ sec にした時の実験結果と, 合成積を用いて数値計算した応答波形と比較したものである。両者は良く一致し, 本手法の妥当性を示していると考えられる。

(3) 得られた $h(t)$ または $H(f)$ に基づいて, 実際のAE信号から, 変換子特性の影響を除去することができる。すなわち, 試験材料表面の速度に関する信号を検出することが可能になる。

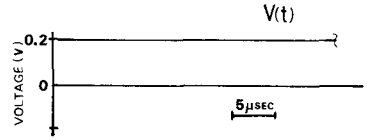
5. あとがき

圧電型AE変換子の伝達応答関数を解析するための入力系として, 電圧印加時の圧電素子の過渡速度を選び, その妥当性を示した。

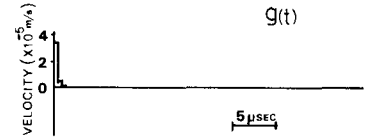
しかし, 破壊機構の定量的解明には, 変換子の応答特性だけでなく更に, 試験材料の弾性波伝達特性を明らかにすると共に, 動的破壊力学を応用する必要がある。

参考文献

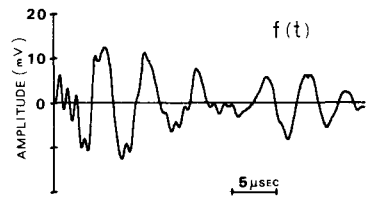
- (1) Scruby, C.B. and Wadley, H.N.G., J. Phys. D: Appl. Phys., 11, 1478~1494 (1978)
- (2) Hsu, N.N. and Breckenridge, F.R., Materials Evaluation, 39, 60~68, (1981)
- (3) 岸, 大野, 栗林, 非破壊検査, 30巻11号, 911~917 (1981)
- (4) 丹羽, 小林, 大津, 土木学会論文集, 314号, 125~136 (1981)
- (5) Redwood, M., J. Acoust. Soc. Am., 36, 1872~1880 (1964)



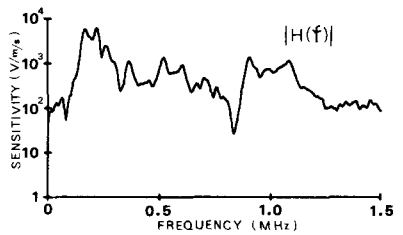
(a) 印加電圧



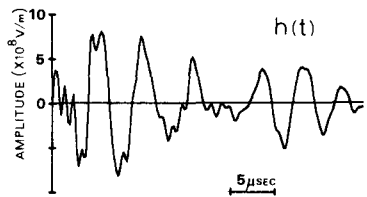
(b) 入力速度



(c) 応答波形



(d) 速度応答スペクトル



(e) 伝達応答関数

図-5 変換子の伝達応答関数

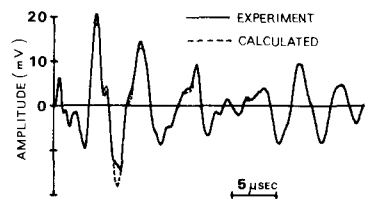


図-6 応答波形の比較 ($T=1\mu$ sec)