

福島高専 正 山内 正司
福島高専 根本 信行

1. はじめに

本研究は、圧電型AE変換子の絶対校正を行なうことにより、これまで問題にされていた変換子の伝達関数と検出波形の物理的意味を明確にし、さらにAE信号の定量化に関して考察したものである。

AE手法を用いて破壊現象を定量的に解明するためには、試験材料内における波動伝播特性と、AE変換子の応答特性を明らかにする必要がある。本文では、変換子の応答特性を対象に直接接触法を用いた絶対校正を行ない、逆合成積によってインパルス応答と伝達関数を求めた。特に問題となる入力系の定量的な評価は、電圧印加時における圧電素子の温度応答理論に基づいた。

2. 圧電型AE変換子の絶対校正

(1) 校正手法

AE変換子の応答特性も、直接接触法により校正する。

図-1に示すブロックダイアグラムにおいて、Aは送波用変換子、Bは受波用変換子を表わし、いずれもNF社製の905Sを用いている。

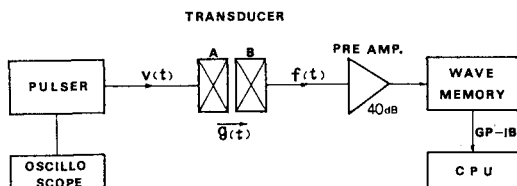


図-1 ブロックダイアグラム

線形システム理論によれば、系のインパルス応答 $h(t)$ と伝達関数 $H(f)$ は、入力 $g(t)$ 、出力 $f(t)$ 、およびそれらのフーリエ変換 $G(f)$ 、 $F(f)$ から次の逆合成積によって得られる(図-2)。

$$h(t) = f(t) \otimes g^{-1}(t) \quad \text{or} \quad H(f) = F(f) / G(f) \quad \text{------(1)}$$

この場合、系に対する入力 $g(t)$ 、すなわちここでは、電圧印加時における送波用変換子Aの過渡的挙動を定量的に把握することが最も重要な点である。

図-3は905Sの内部構造を示したものであるが、この様に異種材料によって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 $\dot{\zeta}(t)$ は近似的に次式で表わされる⁽¹⁾

$$\begin{aligned} \bar{\zeta}(p) &= \frac{h C_0 V_0}{Z_c + Z} \left\{ 1 - (1+R)e^{-p\tau} + R(1+R)e^{-2p\tau} - R^2(1+R)e^{-3p\tau} + \dots \right\} \\ \dot{\zeta}(t) &= \mathcal{L}^{-1} \{ \bar{\zeta}(p) \} \quad , \quad R = (Z_c - Z) / (Z_c + Z) \quad \text{------(2)} \end{aligned}$$

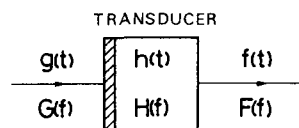


図-2 変換子と線形システム

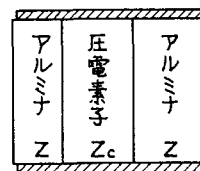


図-3 変換子の内部構造

上式の記号の意味とその材料定数は表-1に示す通りである。

実験手順は、まず(i)パルスジェネレータ(YHP社214A、立ち上がり時間20ns)からパルス状電圧(0.2V、パルス幅T)を印加する。これによって生じる送波用変換子Aの過渡速度 $g(t)$ を式(2)に基づき計算する。(ii)変換子Bの出力波形 $f(t)$ をプリアンプ(40dB、BPF 50kHz~2MHz)を通し、ウェーブメモリ(NF社、WM-852)にサンプリング間隔0.1μsごとき記憶させ、GP-IB、CPUを介してミニフロッピーディスクに記録する(データ数1024個)。(iii)高速フーリエ変換を用いて、式(1)から伝達関数 $H(f)$ 、インパルス応答 $h(t)$ を計算する。

表-1 材料定数

圧電素子	圧電定数 h (N/C)	2.17×10^9
	静電容量 C_0 (F)	400×10^{-12}
	機械的インピーダンス Z_c (kg/s)	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 (kg/s)	2980

(2) 結果

印加電圧のパルス幅を $T=100\mu\text{s}$ とした時の変換子AからBへの入力 $g(t)$ を、図-4(a)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、伝達速度はなだちに減衰している。図-4(b)は、これに対応する出力波形である。これらに基づいて得られた伝達関数の絶対値 $|H(f)|$ を図-4(c)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示したものである。0.1~1.1 MHz においてはほぼフラットな特性を有しているが、低周波数成分に対する感度が比較的高い。

$H(f)$ を逆フーリエ変換すれば、変換子のインパルス応答 $h(t)$ が得られる。(図-4(d))

(3) 入力系の妥当性

図-5(a) は印加電圧のパルス幅が $T=1\mu\text{s}$ である時の入力 $g(t)$ であり、(b) は、合成横 $h(t) \otimes g(t)$ を行った計算結果と実験結果を比較したものである。両者は良く一致し、変換子が速度応答型であることの妥当性を示している。

3. AE信号の定量化について

前節の結果から、実際のAE信号に含まれる変換子の応答特性を除去することにより、試験材料表面の速度に関する信号を定量的に検出することが可能になる。

図-6(a)は、モルタル試体(φ50×90)の一軸圧縮試験において、 b 付近で得られた観測波形である。この周波数スペクトルと逆合成横によって変換された材料表面の速度スペクトルを図-6(b)、(c)に各々示す。生のスペクトル(b)においては、250 KHz 付近をピークに高周波数成分になるに従って漸減しているが、これは変換子の応答特性の影響を受けているためであり、実際は300 KHzと800 KHz 付近にピークが認められる。

4. まとめ

圧電型AE変換子の応答特性に関して、直接接触法を用いた絶対校正を行ないその妥当性を検討した。

結果から、変換子が検出する物理量は材料表面の速度に対応していることが明らかになった。さらに、実際のAE信号の定量化を試みた。

参考文献

(1) Redwood, M., J. Acoust. Soc. Am. 36, pp 1872~1880 (1964)

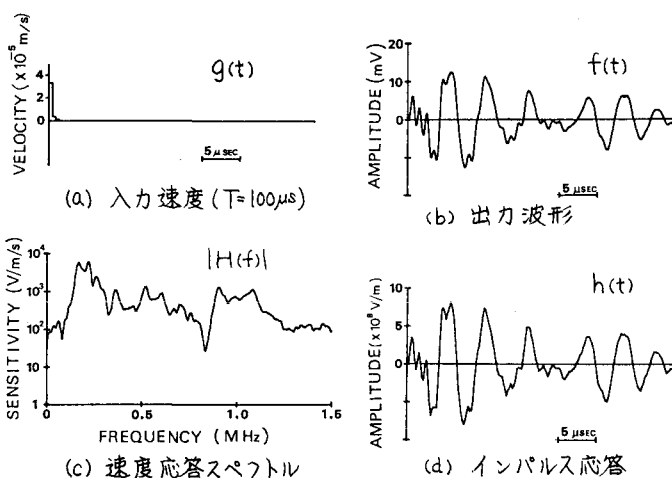


図-4 変換子の応答特性

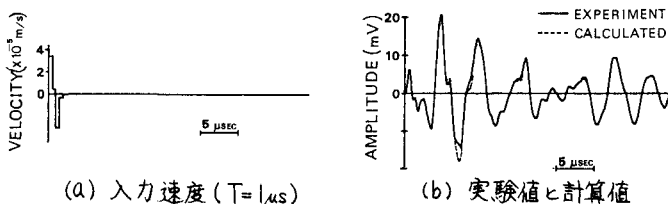


図-5 応答波形の比較

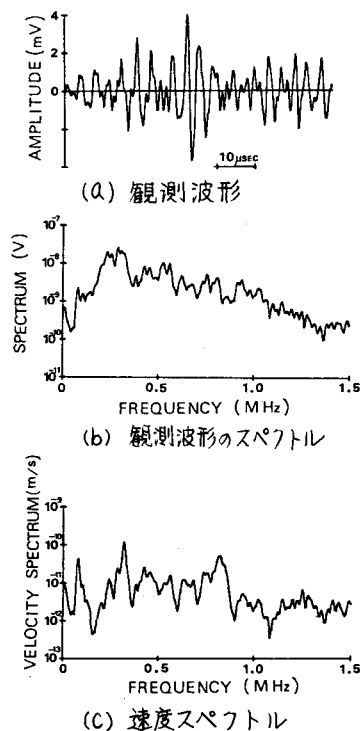


図-6 AE信号の定量化