

I-392

超音波による高減衰材料の界面評価

東海大学海洋学部 正員 北原 道弘
 小野測器音響技研 正員 武捨 貴昭
 小野測器音響技研 猿渡 克己

1.はじめに

コンクリートの打継目や煉瓦の継目などの界面評価を超音波を利用して行う場合、従来の高周波域超音波探傷法では、これら構造材料特有の高減衰性のために、材料界面を評価するに足る信号識別が困難であった。このため、低周波域バースト波を利用することが考えられるが、低周波信号は分解能が低い等の問題を有している。本報告では、低周波域バースト波による受信データに対し、フィルタリング処理を行うことにより信号の分解能を高める一手法を提案し、これを構造材料の界面評価に応用した一例について述べる。

2.バースト波の時間-周波数成分

バースト波が有する時間-周波数平面上のエネルギー分布を調べるために、ウィグナー分布¹⁾と呼ばれる時間-周波数解析を行った結果を図1に示す。図の上部がバースト波の波形であり、下部が時間-周波数面上のウィグナー分布である。バースト波の立ち上がりと終了部分に、正弦波の基本周波数成分以外に、かなり大きいエネルギーを有する広帯域の周波数成分が含まれていることがわかる。本報告では、この広帯域周波数成分をバースト波が有していることに着目し、受信信号の高周波成分を一種のハイパス・フィルターにより取り出し、信号識別性能の向上を試みる。

3.フィルタリング処理

一般に材料の表面から内部の界面を評価しようとする場合、継続時間幅の短いパルス波を入射し、その反射波を検出する方法が利用されている。しかし、コンクリートのように内部構造が複雑になると、従来の高周波パル

スでは減衰が大きく、反射波の検出が難しいという問題がある。一方、高周波パルスのかわりに、低周波のバースト波を用いるとエネルギーの伝搬は良好であるが、波長が長いため界面上の微小欠陥の検出が困難であること、また所要の分解能が得られにくい等の問題がある。このバースト波が有するパワーに関する長所を生かし、かつ、パルス波が本来有している高分解能性に関する長所を取り入れるため、バースト波の先端部分には基本周波数成分の他に、広帯域の周波数成分が含まれている事実(図1)に着目した波形の分析方法について考えてみる。

バースト波の送信間隔が材料内部を往復する時間に對し十分に大きい場合、バースト波は次式で表される。

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t) \cdot u(t) \quad (1)$$

ここに、 A はバースト波の振幅、 ω_0 はバースト波の基本角振動数、 $u(t)$ は単位ステップ関数である。式(1)のフーリエ変換 $X(\omega)$ は、 $\delta(\omega)$ をデルタ関数として、次のようになる。

$$X(\omega) = \frac{A\omega_0}{\omega_0^2 - \omega^2} + \frac{\pi A}{2j} [\delta(\omega - \omega_0) - \delta(\omega + \omega_0)] \quad (2)$$

ここに、 j は虚数単位である。この式から、バースト波は $\omega = \omega_0$ に単一の基本周波数成分を有するだけでなく、 $\omega \neq \omega_0$ についてもエネルギー成分を有することがわかる。このため、 $\omega_1 > \omega_0$ なる角振動数 ω_1 以上の全てのエネルギー成分を取り出すことにより、バースト波の基本周期成分を除去した信号成分が得られる。この信号を $x_0(t)$ とすると、 $x_0(t)$ は次のように表される。

$$x_0(t) = \frac{1}{4\pi} \int_{\omega_1}^{\infty} \left(\frac{e^{j\omega t}}{\omega_0 - \omega} + \frac{e^{j\omega t}}{\omega_0 + \omega} \right) d\omega \quad (3)$$

ここに、 ω_1 は $\omega_1 > \omega_0$ とする適当な角振動数である。式(3)を公式

$$\int x^{-1} a^x dx = \frac{a^x}{x \log a} + \frac{a^x}{(x \log a)^2} + \frac{2a^x}{(x \log a)^3} \quad (4)$$

を用いて近似計算すると、 $x_0(t)$ は近似的に次のように表される。

$$x_0(t) \approx \frac{C}{\Delta\omega \cdot t} \sin \omega_1 t \quad (5)$$

ここで、

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_0 \quad (6)$$

であり、 C は定数である。これより、バースト波をハイパス・フィルターによりフィルタリングした信号は、 $\Delta\omega$ が十分大きければ、インパルス的な性質を有することがわかる。この結果、低周波のバースト波に対し、上記フィルタリング処理を行うことにより、高調波歪みが起こるような場合についても高分解能のパルス応答波形を得ることができる。この信号処理の流れを整理すると図2のようになる。

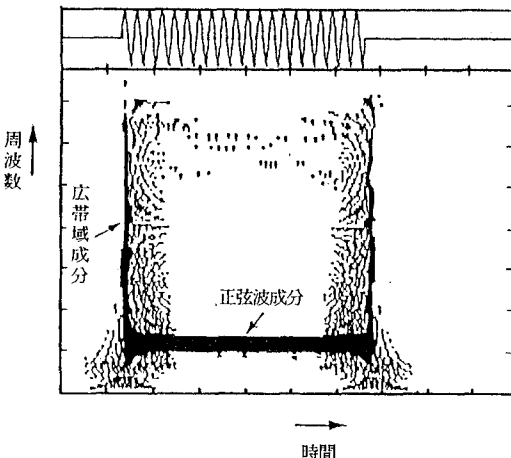


図1 バースト波(上段)の瞬時パワースペクトル分布

4. 実験概要

実験に使用した試料は、縦波の波速が4000 m/sec, の直方体(9.5cm x 14cm x 30cm)コンクリート供試体を用いた。これを図3に示すように2段に重ね、一方の超音波探触子から60 kHz, パルス幅0.8 msec, のパースト波を供試体内部に送信し、受信信号をFFTアナライザで計測し、このデータについてフィルタリング処理に必要な波形解析を実施した。

5. 解析結果

図4に、シグナルジェネレーターから送信したパースト波の時間波形とスペクトル波形を示す。図5に、界面に繊維上のシート(厚み約1mm)を挿入した場合の受信時間波形とスペクトル波形を示す。この波形からでは、一見、界面からの波形情報が識別しにくいことがわかる。そこで、次のようにフィルタリング処理を行った。スペクトル波形のうち、70 kHz以下のスペクトル成分を除去し、フィルタリング処理し、その後逆フーリエ変換を行い応答波形を求めた。この結果を図6に示す。この図において、時間軸上の(a)はトランスデューサの接触面、(b)はコンクリートの界面、(c)は底面からの反射波の位置である。この図からフィルタリング処理により、界面からの反射波の検出が可能であることがわかる。

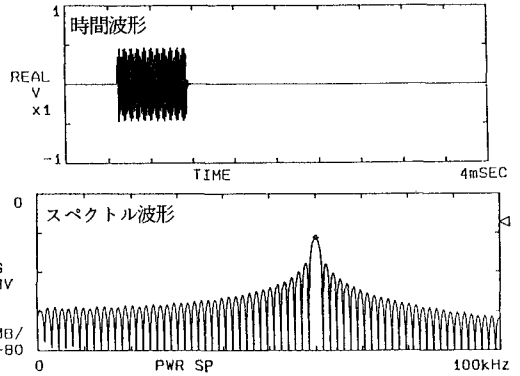


図4 送信波形(60kHz, 40波のパースト波)

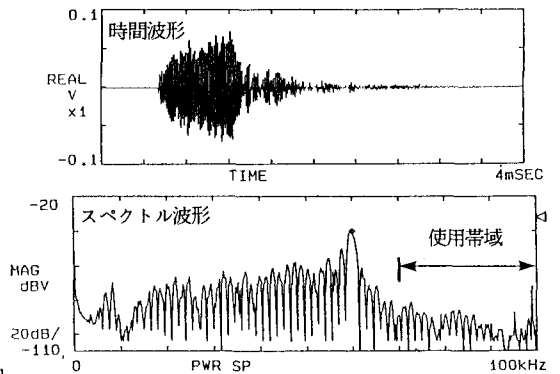


図5 受信波形

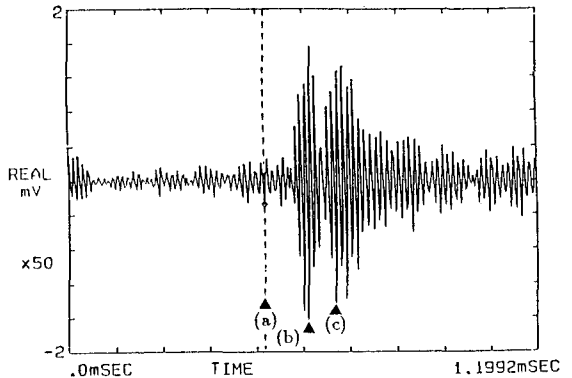


図6 薄い繊維状シートを挿入した界面のフィルタリング波形 (a)表面からの反射波 (b)界面からの反射波 (c)底面からの反射波

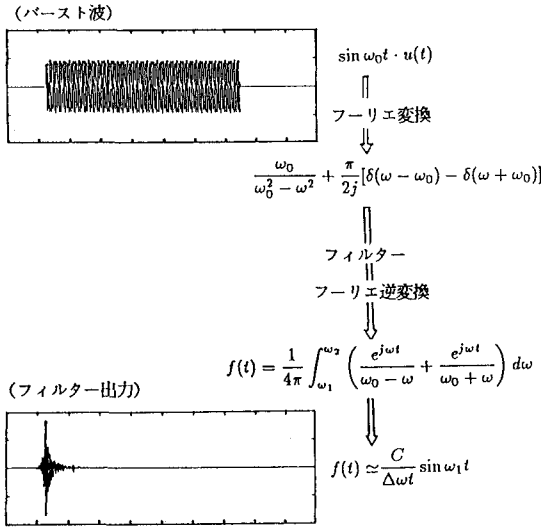


図2 フィルタリング処理の手順

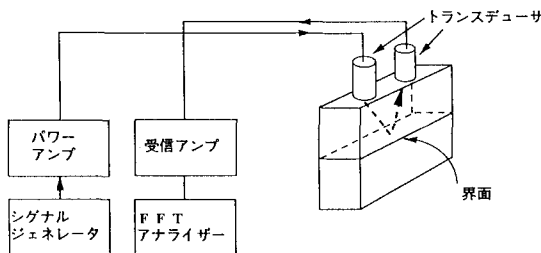


図3 測定装置

参考文献

- 1) T.A.C.M. Claasen and W.F.G. Mecklenbräuker, The Wigner distribution - a tool for time-frequency signal analysis, part III, Philips J. Res., Vol.35, pp.372-389, 1980.