

ガウス変調サイン波を利用した傾斜クラック長の推定

東海大学大学院 学生員 ○梅田 耕一
東海大学海洋学部 三葉 眞裕
東海大学海洋学部 正 員 北原 道弘

1. はじめに

部材の裏面を起点として、内部に向かって傾いて入った表面クラックの長さを、超音波により推定することを考える。推定手法として、ここでは波動解析知識ベースに基づくニューラルネットワークを採用する。この際のポイントは、ガウス変調したサイン波を傾斜クラックに対する入射波形として利用することにある。これは、ガウス変調サイン波が使用する探触子の特性、即ちバンド幅と中心周波数、を再現し得る最も簡単な波形の一つであることによる。傾斜クラック長の一推定例を示すことにより、手法の適用性について考える。

2. 問題の設定

Fig.1 に示すように、長さ a のクラックが部材の裏面の法線に対し 30° 傾いて入っている場合を考える。このとき、水中圧電型探触子により図中の 24.2° の方向に超音波を送信し、部材裏面のクラックにより後方に散乱された波動を同じ探触子で受信して、この受信散乱波形からクラックの長さを推定したい。水中超音波の入射角 24.2° は、部材内で 60° に屈折した横波がクラック面に対して垂直に入射するように選ばれている。

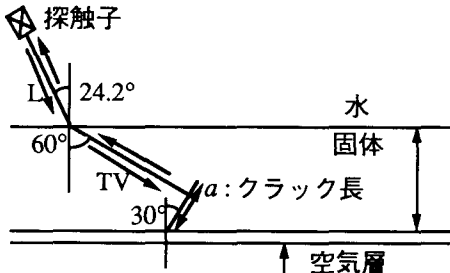


Fig.1 Surface breaking inclined crack of depth a .

3. 境界要素法による解析散乱波形

本研究においては、クラック長を推定するための道具としてニューラルネットワークを利用する。問題はネットワークのトレーニング用波形をどのように準備するかである。ここでは、境界要素法を利用して固体内の波動解析を行うことにより、クラックによる後方散乱波形を生成する。現実の実験計測との対応を考慮して、入射波の時間域波形として次のようなガウス変調サイン波を採用する。

$$f(t) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(t-\eta)^2/2\sigma^2} \sin(2\pi f_c t) \quad (1)$$

この波形は探触子の特性を解析に取り入れるために選んだものであり、 σ は計測に使用する探触子のバンド幅、

f_c は中心周波数、 η は入射波動の時間遅れである。Fig.2 に以後の解析に用いたガウス変調サイン波の時間波形を示す。実際には、境界要素法による波動解析は周波数域で行うため、式(1)をFFTにより周波数域に変換したものを入射波形として境界要素法による解析結果とコンボリューションを行う (Fig.3 参照)。こうして生成した周波数域の解析散乱波形の一例を $0.8\text{mm}, 1.0\text{mm}, 1.2\text{mm}, 1.4\text{mm}$ のクラックについて Fig.4 に示す。

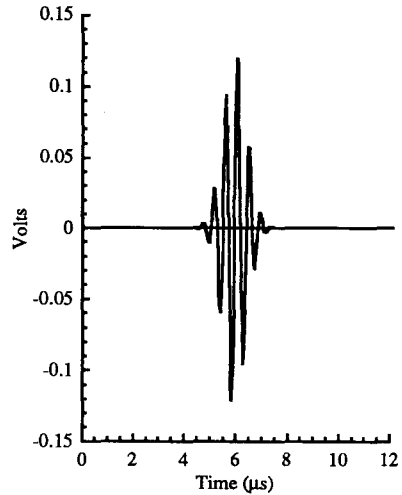


Fig.2 Incident waveform in time.
(Gaussian modulated sinusoid)

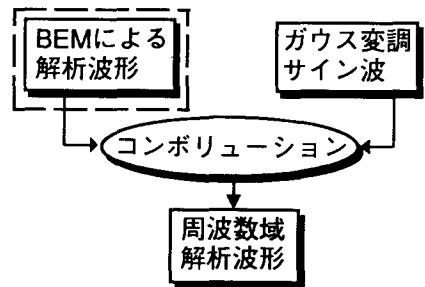


Fig.3 Synthetic training data set.

4. ニューラルネットワーク

ここで採用したニューラルネットワークは、3層階層型のネットワークに誤差逆伝播則を用いて、重みとしきい値を修正するごく標準的なものであり、その構造を模式的に Fig.5 に示す。

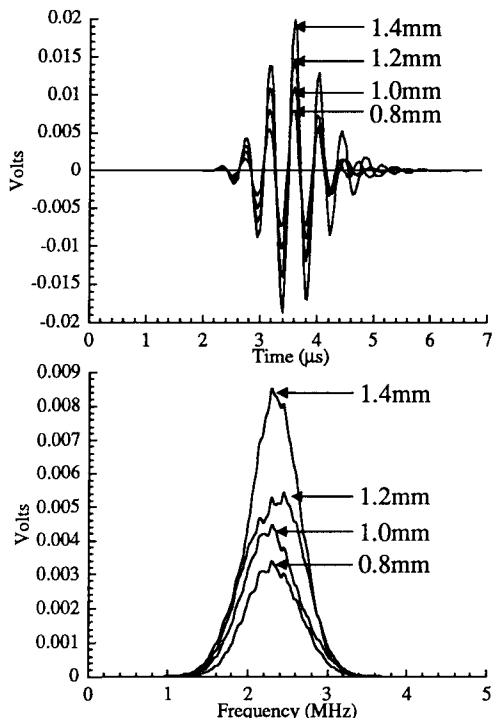


Fig.4 Waveforms for inclined cracks

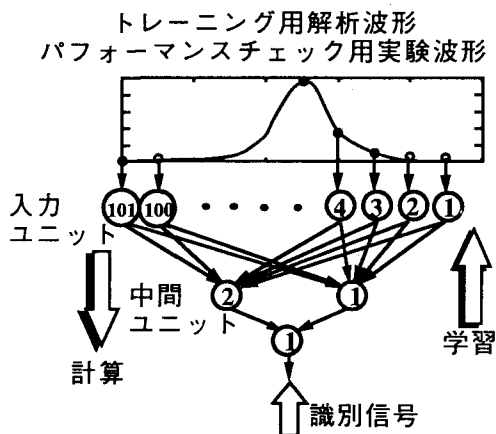


Fig.5 Neural network structure, learning and evaluation procedures.

Table 1 Convergence check of the neural network.

Input : waveforms for crack depth of (mm)	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00
Output : crack depth from response unit (mm)	0.82	0.98	1.20	1.41	1.61	1.83	1.92	2.20	2.39	2.59	2.83	3.00

Table 2 Network performance for inputs of experimental data.

Input : waveforms for crack depth of (mm)	1.19	1.56	2.32	2.78
Output : crack depth from response unit (mm)	1.08	1.56	2.37	2.58

5.計測波形の前処理法

ネットワークのトレーニングは、境界要素解析に基づいたクラックによる部材内の後方散乱波形を用いているため、本研究では、計測波形をネットワークに入力する前に、Fig.6 に示した手順により計測波形の前処理を行う。実験計測により得た生の波形を部材のコーナー部を利用した参照信号により周波数域でデコンボリューションを行うことにより、部材内における実験計測波形を得る。Fig.6 の点線枠で示したこの過程が、Fig.3 における境界要素法による解析波形に対応している。ガウス変調サイン波とのコンボリューション過程は Fig.3 の場合と同じである。

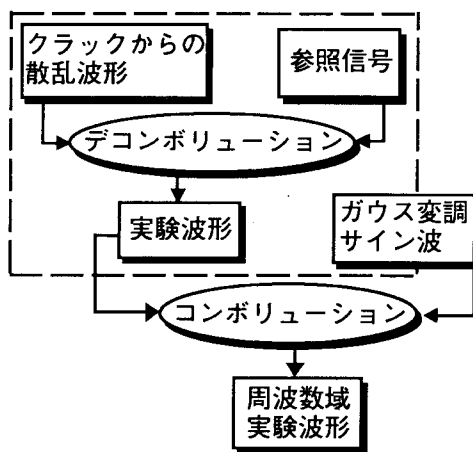


Fig.6 Pre-processing of experimental signal to feed trained network.

6. ネットワークのパフォーマンス

Fig.5 に示したネットワークのトレーニングは、長さ 0.8mm から 3.0mm まで 0.2mm 刻みのクラックに対する計 12 個の解析散乱波形を用いて行った。Table1 は、トレーニングが完了したネットワークに、再度、解析波形を入力してネットワークの収束状況を確認したものである。Table2 が Fig.6 に示した前処理を行った後の計測波形を、このネットワークに入力したときのネットワークの出力値をまとめたものである。Table の上側が実際のクラック長、下側がネットワークが出力したクラックの推定長さである。