

I-591 クラック深さ推定のためのアナログ出力型ネットワークの利用

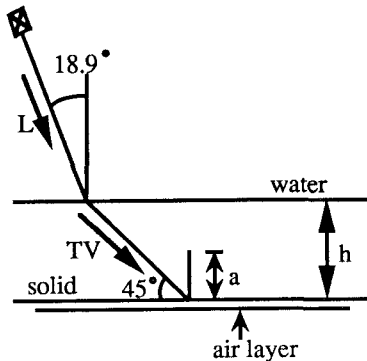
東海大学大学院 学生員 ○梅田 耕一
 東海大学海洋学部 正員 北原 道弘
 三菱総合研究所 野竹 正義

1. はじめに

構造部材の裏面に存在する表面クラックの深さを超音波により推定することを目的として、シンセティックな波動知識ベースの一作成法を提案すると共に、これをトレーニング用データとして利用したアナログ出力型ニューラルネットワークによるクラック深さの一推定結果について報告する。

2. シンセティックな後方散乱波形の生成

Fig.1 に示すように、深さ a の表面クラックが部材の裏面に垂直に入った場合を考える。水中圧電型トランスデューサーにより、部材内でクラックに対し 45° で入射する横波にモード変換するように、トランスデューサーの角度を部材法線に対し 18.9° に設定し、水中超音波（縦波）を発信する。クラックにより散乱される後方散乱波を発信と同一のトランスデューサーで受信し、この後方散乱波形を吟味することにより、クラックの深さを推定したい¹⁾。

Fig.1 Surface breaking crack of depth a .

後方散乱波形を吟味する道具として、ここではニューラルネットワークを利用する。ニューラルネットワークをトレーニングするためのトレーニング用データは、(1) 多くの実験計測により波動知識ベースを作成する方法と(2) 数値解析的にシンセティックな波動知識ベースを作成する方法が考えられる。ここでは、境界要素法を利用して数値解析的にクラックによる後方散乱波形を生成し、ネットワークのトレーニング用データを作成する方法を採用する。Fig.2 にトレーニング用データ作成手順を要約した。境界要素法による波動解析については、紙面の都合上、ここでは省略する。Fig.2 においてガウス変調サイン波とは、時間域で表現すると次のような波形である。

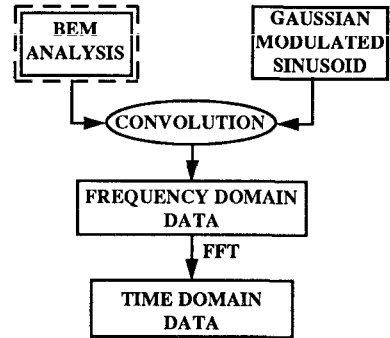
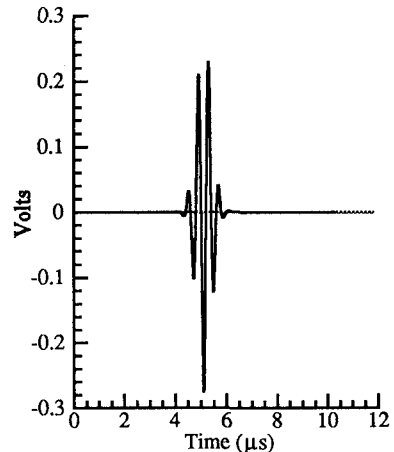


Fig.2 Synthetic training data set.

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

この波形は、トランスデューサーからの出力、即ち、クラックにとっては入射時間波形として採用したものであり、 t が時間、 σ は使用するトランスデューサーのバンド幅、 η は波動の時間遅れ、 f_c はトランスデューサーの中心周波数である。Fig.3 に、以後の解析で実際に用いたガウス変調サイン波の時間波形を示す。

Fig.3 Incident waveform in time.
(Gaussian modulated sinusoid)

この波形のフーリエ変換と境界要素法による波動解析結果のコンボリューションを行って、周波数域における後方散乱波形を得る。時間域における後方散乱波形を得るには、FFT が利用できる。境界要素法において、クラッ

ク深さを変化させれば、シンセティックに後方散乱波形データを生成することが可能となる。実際には、0.6mmから2.4mmまで、0.2mm刻みでクラックの深さを変化させて、計10通りの波形データを作成し、次に示すニューラルネットワークのトレーニング用入力データとした。

3. アナログ出力型ニューラルネットワーク

ここで利用した3層階層型ネットワークをFig.4に示す。ネットワークは標準的なものであり、重み及びしきい値の修正は誤差逆伝播則を用いている。ただ、出力層のユニット数を1個とし、学習用教師信号を数値0と1の組み合わせとせず、(0,1)の間で変化する実数値として選んだ。これにより、ネットワークのトレーニングが完了すれば、このネットワークはクラック深さの推定値を直接出力するアナログ出力型ネットワークとなる。また、実際には、入力ユニット数を $N=101$ 、中間ユニット数を $L=10$ とした。Table1はトレーニングが完了したネットワークにトレーニングに利用したものと同じ波形を入力して、ネットワークの収束状況を確認したものである。

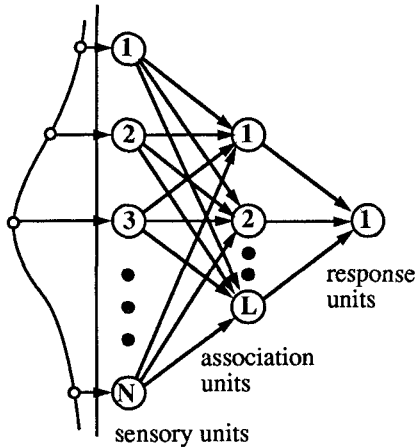


Fig.4 Architecture of neural network with analog output.

Table1 Convergence check of the network.

Input : waveforms for crack depth of (mm)	0.60	0.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20	2.40
Output : crack depth for response unit (mm)	0.60	0.80	0.93	1.22	1.39	1.64	1.84	2.04	2.28	2.40

Table2 Network performance for inputs of experimental data.

Input : waveforms for crack depth of (mm)	0.67	1.05	1.49	2.19
Output : crack depth from response unit (mm)	0.91	1.10	1.48	2.18

4. ネットワークのパフォーマンス

実際には、実験計測波形を入力した場合、このネットワークがクラック深さをどのように推定するかが重要である。実験計測波形の前処理過程をFig.5にまとめた。クラックからの生の計測波形は参照波形によりデコンボリューションされ、ガウス変調サイン波とコンボリューションされる。このように前処理された計測波形を、トレーニングが完了したネットワークに入力したときの出力推定結果をまとめたものがTable2である。Table2の上側が計測波形に対応する実際のクラック深さ、下側がネットワークの推定結果である。最も浅いクラック、0.67mm、の場合を除いて、ほぼ許容できる程度にクラック深さを推定していることがわかる。

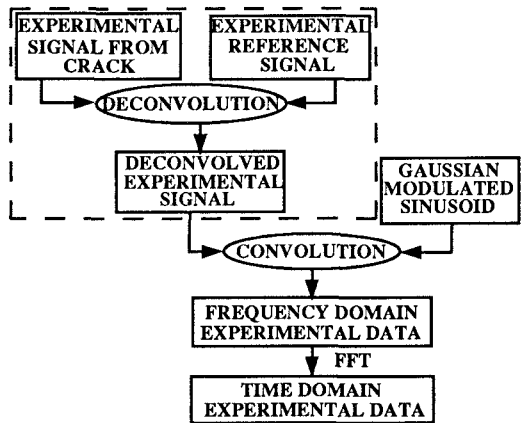


Fig.5 Pre-processing of experimental signal.

5. おわりに

現段階では、クラックが部材裏面に垂直に入っている場合を想定している。今後、傾いて入ったクラック深さの推定方法についても考えたい。

参考文献

1) 梅田, 森口, 北原, 野竹: 超音波によるクラック深さの推定, 第47回年講, 平成4年9月。