

ニューラルネットワークを用いた弾性波到達時刻自動検出手法

Arrival time detection method based on neural network

○北沢大樹¹, 小林義和², 小田憲一², 中村勝哉²*Daiki Kitazawa¹, Yoshikazu Kobayashi², Kenichi Oda², Katsuya Nakamura²

Abstract: Source localization technique plays significant role in AE testing. The source localization is generally conducted by using the arrival times of AE, and the detection of the arrival times should be performed automatically since the number of AE events is generally numerous. As one of the methods that automatically detect the arrival time, a method that used Akaike's information Criterion (AR-AIC) has been used. However, the detected arrival time by AR-AIC may involve error under complex conditions. Therefore, a technique that determines a region in which AR-AIC is applied is proposed by using a neural network. The proposed technique is validated by using the results of experiments.

1. まえがき

近年, Acoustic Emission(以下「AE」と称する。)等の弾性波を用いた非破壊検査の利用が進んでおり, 弾性波の到達時刻を入力値とした破壊位置標定の試み^[1]が行われている。しかし, 計測される弾性波の数は膨大であり, 到達時刻の自動検出手法の適応が望ましい。

自動検出手法の一つとして AR-AIC を適用した手法が提案されており, 破壊位置標定に適用した例^[2]がある。しかし, AR-AIC は弾性波の S/N 比が比較的低く, 振幅の異なる波が短い間隔で進行した場合に, 先行して到達した弾性波を到達時刻として検出しないことがある。その結果, 検出する到達時刻に誤差が生じることがある^[3]。そこで本研究では, 計測された疑似 AE の各点における時系列をニューラルネットで判定し, AR-AIC が適切に機能する解析領域を検出する方法を提案する。本研究では, 疑似 AE および解析領域において AR-AIC を適用した結果を比較し, AR-AIC の精度向上を狙う解析領域の妥当性について検討した。

2. 提案法

計測された弾性波の立ち上がり部の波形を判定するニューラルネットワークを構築した。ニューラルネットワークによって検出された点を基点とした解析領域を設定し, AR-AIC を適用する。

教師データには特定の周波数を有する \sin 波の半周期分の振幅を用いる。また, 周波数の決定には計測された複数の波形データから得られた平均振幅スペクトルの最大値を参考にする。ここで, 振幅を A , 入力層のユニット番号を i , サンプリングの時間刻みを Δt とした教師データ x_i を式(1)に示す。また, 周波数を f , 角速度 ω は式(2)で示す。

$$x_i = A \sin(\omega \Delta t i) \quad (1)$$

$$\omega = 2.0 \pi f \quad (2)$$

中間層において, j を中間層のユニット番号として(1)で算出された値と重み変数を乗じた値 a_j によって出力される \tanh 関数 $h(a_j)$ を式(3)に示す。また, a_j を式(4)に示す。

$$h(a_j) = \frac{e^{a_j} - e^{-a_j}}{e^{a_j} + e^{-a_j}} \quad (3)$$

$$a_j = \sum_{i=1}^N w_{ij} x_i \quad (4)$$

ここで, w_{ij} は一層目の重み変数を表す。 \tanh 関数である $h(a_j)$ は 1.0 から -1.0 の範囲で出力した。

出力関数は標準シグモイド関数 $y(\eta)$ を用いた。 $y(\eta)$ は 1.0 から 0 の変域で出力した。また, w_j を二層目の重み変数として式(5)から(6)に示す。

$$y(\eta) = \frac{1}{1 + e^{-\eta}} \quad (5)$$

$$\eta = \sum_{j=1}^3 w_j h(a_j) \quad (6)$$

各点毎に判定を出力し, 初めに出力値が 1 に近い数値になった点を検出点とした。検出点より半周期分遡った範囲に同じ振幅を持つ下に凸の波形が存在する可能性がある。そのため, 検出点より 1 周期分遡った時間から半周期分進んだ時間を解析領域とした。

3. 計測概要および解析例

AE 計測のための加振はシャープペンシルの芯の圧折によって人為的に疑似 AE を発生させるペンシルリ

1 : 日大理工・院 (前期)・土木, Civil Engineering, CST, Nihon-U. 2 : 日大理工・教員・土木 Civil Engineering, CST, Nihon-U.

ードブレイクによって行う。ペンシルリードブレイクは AE を用いた検討において一般に採用される手法^[4]である。また、疑似 AE を確実に計測するため、計測装置の仕様及び条件は金属材料にペンシルリードブレイクを実施した例^[4]を参考にした。Fig.1 に実験概要を示す。加振位置は ch1 から 10mm 離れた位置とした。

Fig.1 の実験条件の下、ch2 と ch3 で計測された疑似 AE に AR-AIC を適用した、到達時刻に誤差が生じた二つの疑似 AE を Fig.2 に示す。ch2 の計測例は、距離による減衰が、ch3 の計測例は欠損部を回折による減衰が要因となり、AR-AIC の結果に誤差が生じたと考えられる。本研究では、Fig.2 に示す二つの疑似 AE にて解析領域の妥当性の検証を行った。また、入力層のユニット数を決定するために参考にした 8 個の波形データの平均振幅スペクトルを Fig.3 に示す。

4. 解析結果および考察

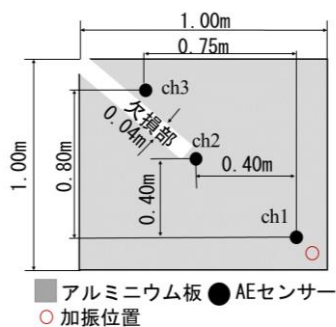


Fig.1 Experimental outline diagram

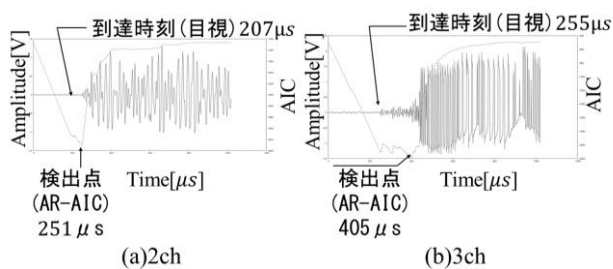


Fig.2 The results of AR-AIC

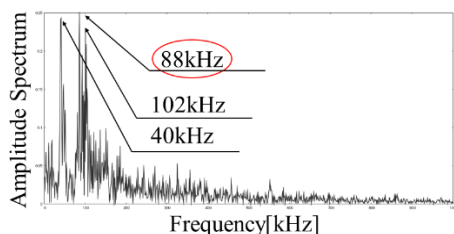


Fig.3 The Average of Amplitude Spectrum

Fig.2 に示す二つの疑似 AE において、構築したニューラルネットワークの判定結果を Fig.4 に示す。Fig.4 に示す様に、(a)では $206\mu\text{s}$ 、(b) $259\mu\text{s}$ の位置で検出した。Fig.5 に検出位置を基点とした(a) $198\mu\text{s} \sim 214.5\mu\text{s}$ 、

(b) $248.5\mu\text{s} \sim 264.5\mu\text{s}$ の範囲解析領域における AR-AIC の結果を示す。解析領域において AR-AIC は(a) $207\mu\text{s}$ 、(b) $256\mu\text{s}$ を検出した。二つの疑似 AE において、目視で判読した到達時刻ほぼ等しい点を検出した。設定した解析領域内において AR-AIC の精度が確認できた。

5. まとめ

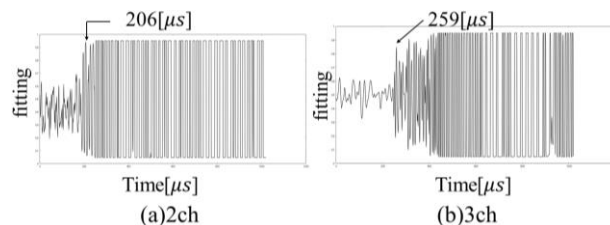


Fig.4 Fitting Level

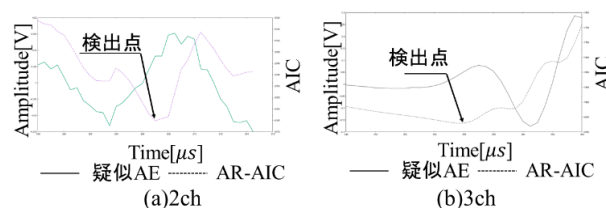


Fig.5 The results of AR-AIC in Analysis area

解析領域における AR-AIC の精度向上の妥当性を検証するため、異なる条件で計測された二つの疑似 AE に対して提案法を適用した。条件の異なる二つの疑似 AE において、提案法で検出された到達時刻は目視で検出した到達時刻とほぼ等しい位置となった。提案法を適用することで AR-AIC の精度向上が図れた。

6. 参考文献

- [1] Y.Kobayashi, T. Shiotani: Computerized AE Tomography, Innovative AE and NDT Techniques for On-Site Measurement of Concrete and Masonry Structures, State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 239-MCM, Springer, pp.47-68, May 2016.
- [2] 大野健太郎, 下菌晋一郎, 沢田陽祐, 大津政康: AE 初動部の自動読み取りの開発による SiGMA 解析の改良, 非破壊検査, 57(11), pp.531-536, 2008.
- [3] 中村勝哉, 小林義和, 小田憲一, 池端宏太: 時刻歴波形ノイズ部の実行電圧を用いた AE 到達時刻自動検出手法の開発, 土木学会, S05C-06, 2021.
- [4] Ai, L. Soltangharaei, V. Bayat, M. Greer, B. Ziehl, P.: Source localization on large-scale canisters for used nuclear fuel storage using optimal number of acoustic emission sensors, Nuclear Engineering and Design, Vol.375, No.111097, 2021.