

[研究論文] 自己組織化マップを用いた構造-音場連成系における 欠陥の同定

小机わかえ¹・宮地秀征¹・伊藤みか²・大村勝俊²

1 機械工学科

2 平成 22 年度機械工学科卒研究生

Structural Defect Identification in Coupled Structural-acoustic System by Self Organizing Maps

Wakae KOZUKUE¹, Hideyuki MIYAJI¹, Mika ITO², Katsutoshi OHMURA²

Abstract

In a coupled structural-acoustic system which has a box structure and interior air the position of a defect included in the structure is identified by using the frequency response of sound pressure level in the interior sound field. For the analysis of coupled structural-acoustic system Finite Element Method (FEM) is utilized. The box including a defect is excited by dynamical load and the frequency response of the interior sound are learned by Self-organizing Maps (SOM) as an input vector and the maps is drawn in the 2-dimensional plane. The frequency response for the model whose defect position is not known is given to the trained maps, and the identification is carried out. As a result the good accuracy of the identification is obtained. Furthermore, it is confirmed that the identification by SOM has better accuracy than by the other neural network such as LVQ (Learning Vector Quantization) or BNN (Back Propagation Neural Network).

Keywords : Defect Identification, Coupled structural-acoustic System, Self Organizing Map, FEM

1 まえがき

機械や構造物内の欠陥は、放置しておくとも破壊を引き起こすため、その探索は機械などの寿命を維持するために重要と考えられる。このような状況に対する対策として、ヘルスマonitoringと称する研究分野があり、解析・実験の両面から活発な研究が行われている。本研究では、構造物に含まれる欠陥を、騒音データから同定することを試みる。具体的には、機械構造物を模擬した箱の解析モデルを計算機上に構築し、箱を構成する板に含まれる欠陥を、箱を加振したときの箱内部の音の周波数応答を利用して同定する。周波数応答をニューラルネットワークの一種である自己組織化マップに学習させ、未知の欠陥を含む箱内部の音の周波数応答を自己組織化マップに与えて、欠陥の位置の同定を試みる。

2 自己組織化マップについて

自己組織化マップ(SOM, Self Organizing Map)は競合学習型ニューラルネットワークの一種で、1980年代にコホーネンによって開発された。多次元データの分類、解析、

可視化に効果的なものとして知られている。SOMの特徴は、 n 次元のベクトルの集合を学習することにより2次元のマップにそれらのベクトルの関係を写像することができることである。似ているベクトルは2次元マップ上の近い位置に配置され、似ていないベクトルは遠い位置に配置される。

コホーネンは生物の神経細胞、主として脳の情報処理の仕方を以下のような簡単な式にまとめた。

$$\mathbf{m}_i(\mathbf{t} + 1) = \mathbf{m}_i(\mathbf{t}) + h_{ci}(\mathbf{t})[\mathbf{x}(\mathbf{t}) - \mathbf{m}_i(\mathbf{t})] \quad (1)$$

この式は次のような意味を持っている。神経細胞 i が時刻 t で処理している情報処理能力を $\mathbf{m}_i(\mathbf{t})$ とするとき、外部から入力信号 $\mathbf{x}(\mathbf{t})$ が入ってきたとする。細胞はこの入力信号を学習して、次の時刻には入力信号により近い情報処理能力 $\mathbf{m}_i(\mathbf{t} + 1)$ を持つようになる。このとき、 $\mathbf{x}(\mathbf{t})$ が n 次元の入力ベクトルであるならば、参照ベクトルと呼ばれる $\mathbf{m}_i(\mathbf{t})$ もまた同じ n 次元の要素を持つ。そして、 $h_{ci}(\mathbf{t})$ は近傍関数と呼ばれる。コホーネンの SOM のアルゴリズムをまとめると次のようになる。

[1] 出力層にノードを配して、それぞれの持つ参照ベクトルをランダムな数値で初期化する。

[2] 入力ベクトルと最もよく一致する競合層での参照ベクトルを探し、これを勝者ノードとする。

[3]この勝者ノードの近傍のサイズを減らし、また学習率係数の値も減らしていく。

以上のアルゴリズムは、様々な本及び論文で詳細に述べられている^{(1),(2)}ので、ここでは概略を記すに留める。

3 解析方法

有限要素法で用いる、箱と内部の空気が連成した解析モデルを作成し⁽³⁾、欠陥を含む底板を加振し、箱内部の音の周波数応答を求める。箱モデルを図1に示す。箱モデルの材質は鉄で板厚3mmの板要素からなる。箱の寸法は1[m]×1[m]×1[m]である。内部の空気は、密度が1.293[kg/m³]で、音速は340[m/s]とし、四面体要素で構成される。欠陥部は箱を構成する底板に含まれるとし、底板の一部の有限要素4個の板厚を3mmから1mmにした四辺形状のものとする。欠陥部は、1要素ずつ縦方向、横方向にずらした計16パターンを設定する。ラベル1-1の欠陥部とラベル4-4の欠陥部の位置を図2に示す。欠陥なしのモデルと底板の一部に板厚が1mmの欠陥部を含むモデルについて、底面の1点を1000Nの動荷重で加振したときの箱内部の観測点における音圧レベルの周波数応答を求める。欠陥部の位置を変えて計算した、箱内部の観測点での音圧レベルの周波数応答の比較を図3に示す。周波数応答は10Hzから200Hzまでを、1Hz刻みで計算した。それらを周波数の数だけの次元を持つ一つのベクトルとし、ベクトルを入力信号、欠陥部のラベルを出力信号として欠陥部の種類16パターン、欠陥なしの1パターンの計17パターンをSOMに学習させる。学習済みのSOMに、欠陥部が未知のモデルの周波数応答(ベクトル)を入力して欠陥部の位置(ラベル)を求める。

4 解析結果

図3に底板に含まれる欠陥を持つ構造の内部の観測点における音圧レベルの周波数応答の比較を示す。欠陥の位置を変えると周波数応答がわずかに異なってくるのがわかる。

図4に学習済みのSOMを示す。なおこのマップは、欠陥なしと欠陥の位置を変えた合計17パターンの周波数応答のベクトルを入力して作成した。マップ内の数字は欠陥の位置につけたラベルを示す。次に、未知の欠陥位置(ラベル3-2)を含むモデルの周波数応答ベクトルを学習させないマップを作成した。結果を図5に示す。SOMは入力するベクトルの順序や個数などにより異なったものとなる。SOMに欠陥3-2の対応する未学習のベクトルを与えて、欠陥位置を求めた。未知の欠陥の位置に近い位置を欠陥位置であるという出力結果を得た。結果を図6に示す。丸印が同定された位置である。

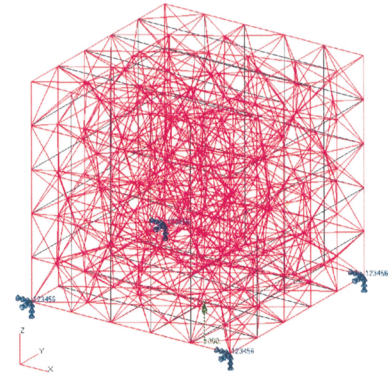


Fig.1 Box Model for Analysis

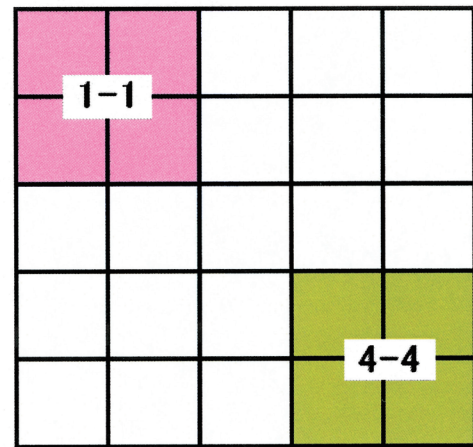


Fig.2 A Label for a Defect Position (1-1 and 4-4)

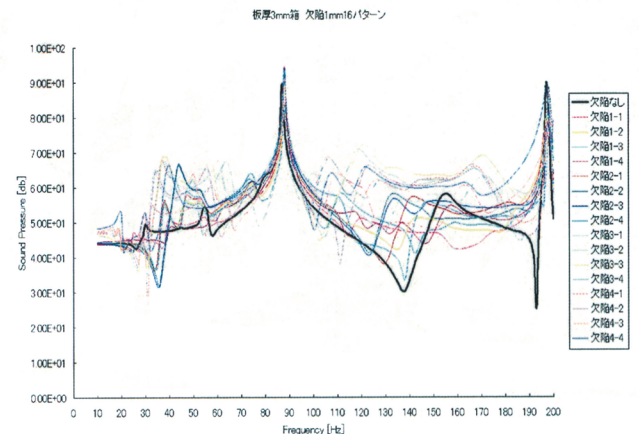


Fig.3 Frequency Response of Sound Pressure Level in the Box Which Contains a Defect

また、周波数応答ベクトルの次元数を変え、少数次元のベクトルで同定可能かも調べた。すなわち、採用する周波数応答の範囲を、10Hz から 18Hz、10Hz から 25Hz、10Hz から 50Hz、10Hz から 100Hz、10Hz から 150Hz、10Hz から 180Hz とした場合の精度を比較した。結果を表 1 に示す。周波数応答ベクトルの次元数を減らしてもある程度は欠陥の位置の同定が可能との結果が得られた。

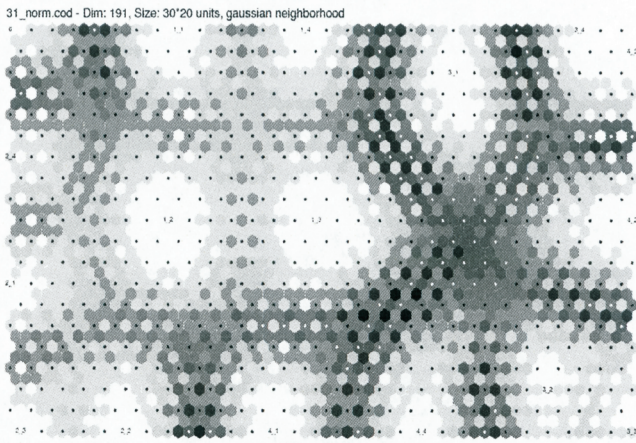


Fig.4 A Map for Defect Position by SOM

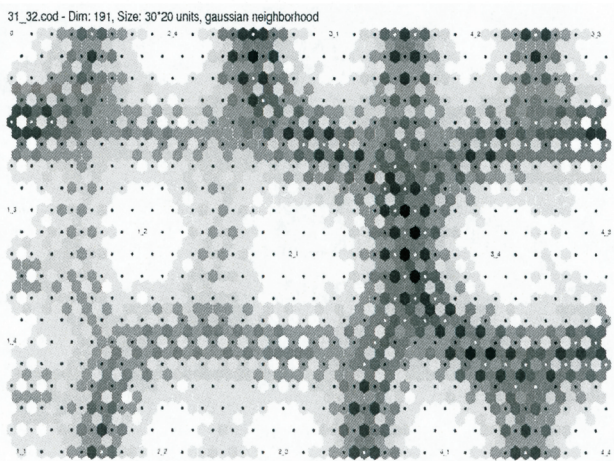


Fig.5 A Map not Containing Defect 3-2 Data

以上の結果は 2 次元平面上にベクトルを射影する Simple SOM を用いて得られたが、球面 SOM やトーラス SOM でもマップを作成してみた。トーラス SOM の結果を図 7 に、球面 SOM の結果を図 8 に示す。

以上の解析結果から、マップ上の欠陥の位置は必ずしも実空間の配置を反映したものではないが、隣接した欠陥はマップ上でも近くに配置されることがわかった。SOM は、複雑な周波数応答の結果を 2 次元平面に写像し、テストにより未知の欠陥を精度よく予測することができると言える。

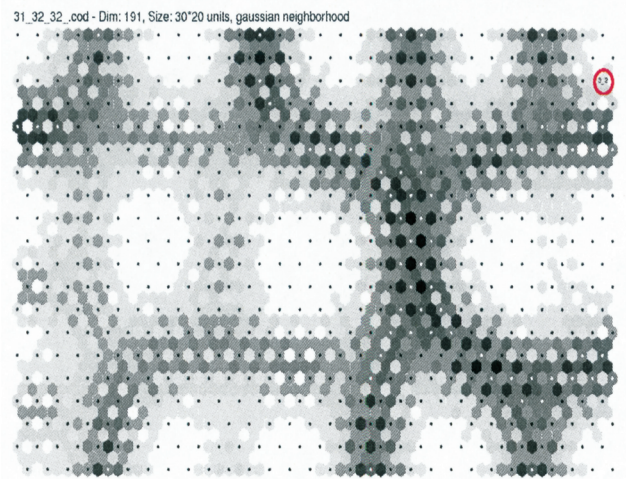


Fig.6 A Result Map for Testing Defect 3-2

Table 1 Testing Result by Map not Containing Data for Defect 3-2

Frequency Range[Hz]	X-Coordinate	Y-Coordinate
10 -18	29	0
10 -25	29	1
10 - 50	28	4
10 - 100	28	4
10 - 150	29	3
10 -180	29	3
10 -200	29	2

Exact Value for the position of Defect 3-2 :
X- Coordinate 29、Y- Coordinate 2

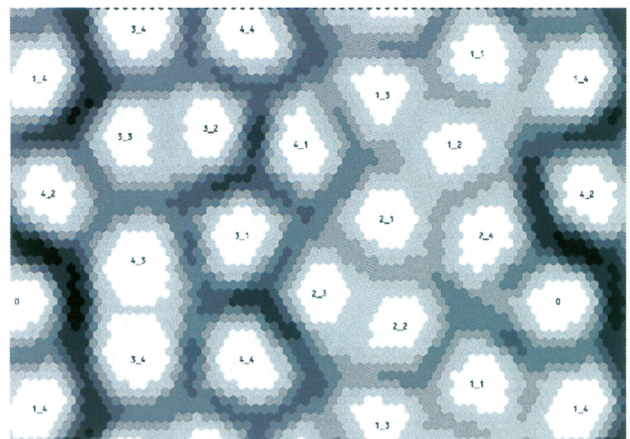


Fig.7 A Map for Defect Position by Torus SOM

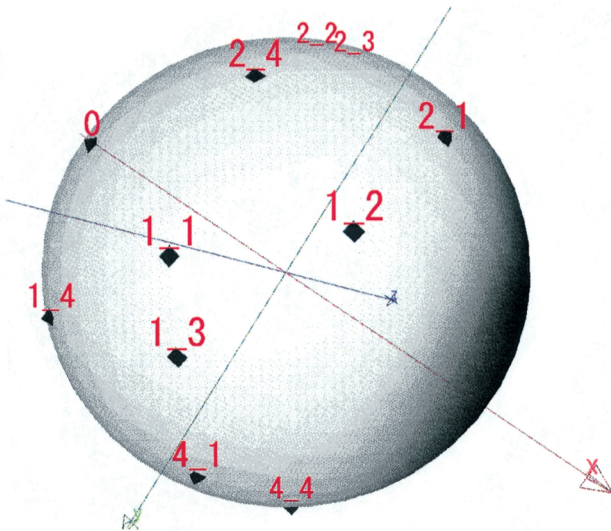


Fig.8 A Map for Defect Position by Sphere SOM

5 結論と今後の課題

自己組織化マップを用いて、構造-音場連成系の音圧レベルの周波数応答から構造系の箱に含まれる欠陥の位置の同定を試みた。同様の解析はニューラルネットワークの一種であるLVQ(Learning Vector Quantization)等でも可能であるが、SOMの方がマップにより視覚的に明らかにすることができ、精度も良い。今後は、より複雑なモデルに含まれる欠陥の同定や、実験データを用いた欠陥同定などが課題として残されていると考えられる。

参考文献

- [1]徳高、大北、藤村、“自己組織化マップとその応用”、シュプリンガー・ジャパン(2007)。
- [2]大北、徳高、藤村、権田、“自己組織化マップとそのツール”、シュプリンガー・ジャパン pp. 21- 23. (2008)。
- [3]Wakae KOZUKUE, Ichiro HAGIWARA, and Hideyuki MIYAJI, ” Identification of Input Load in a Coupled Structural-acoustic System” , Proceedings of 13th Asia-Pacific Vibration Conference CD-ROM (2009)。