

## 複数の機械学習の手法を用いた打音診断

佐藤工業(株) ○黒田千歳, 歌川紀之<sup>※1</sup>

筑波大学 川原佑宇紀, 安田 悠, 安永守利<sup>※2</sup>

### 1. はじめに

コンクリート構造物の点検では目視と打音調査が基本とされている。このうち、打音調査については熟練者が音を耳で聞き分けて欠陥を検出することが多いが、これからは点検者の技量に左右されずに判断できる技術の開発が必要と考えられている。著者らは、打音で記録した波形をもとに複数の機械学習の手法を用いて、それが健全であるのか欠陥であるのか、あるいは、欠陥ならばどのような広さ、深さ、はく離間隔であるのか自動的に判断する技術の開発を進めている。診断には当社技術研究所が保有する円形空洞試験体を学習した自己組織化マップとサポートベクトルマシンを用いる。

### 2. 自己組織化マップ

自己組織化マップ(Self-organizing maps, SOM)はヘルシンキ大学のT.Kohonenによって提案された教師なし機械学習アルゴリズムである<sup>1)</sup>。大脳皮質の視覚野のしくみをモデル化した階層型ニューラルネットワークの一種で、図-1のように任意次元の入力ベクトルを2次元の出力層に写像することにより多次元データの可視化が可能となる教師なし学習アルゴリズムである。出力層のノードはニューロンに相当する。今回は入力ベクトルと同じ次元とする。出力層の配列のサイズは自由に設定される。

### 3. サポートベクトルマシン

サポートベクトルマシン(Support Vector Machine, SVM)はVladimir N. Vapnik, Alexey Ya. Chervonenkisにより提案された線形2値分類を解くための機械学習アルゴリズムであり、その後非線形問題にも対応できるよう拡張され、パターン認識などで広く用いられている。

### 4. 学習対象

学習に使用したコンクリート円形空洞試験体は、

全体の幅2m、高さ1.5m、厚さ0.3mのコンクリート躯体に厚さ2.5cmの発泡スチロールで模擬された円形空洞が埋め込まれているもので、欠陥は半径 $\Phi$ 5cm~30cm、深さ1cm~10cmのいくつかの組み合わせについて製作されている。学習に用いたのは図-1の影をつけた8種類の合計4100個の欠陥部と、各欠陥部の周囲の4123個の健全部で採取した打音データである。

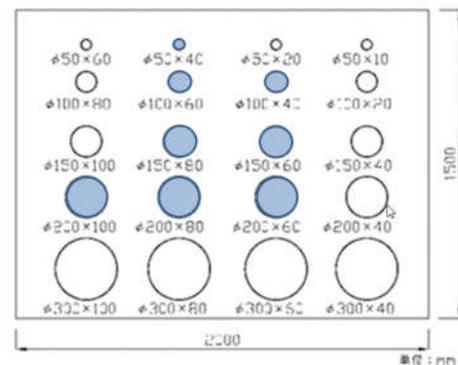


図-1

### 3. 実構造物への適用結果

汽水発電所の揚炭棧橋のコンクリート床版で判定を行った結果を図-2に示す。構造物は海面に近く、塩害による鉄筋の腐食に伴う浮きが生じていた。図ではたわみ振動から推定されたコンクリートの厚さ(はく離、空洞までの深さ)が打音点に直接書かれている。表-1に打音点ごとの自己組織化マップ(SOM)とサポートベクトルマシン(SVM)による判定と推定厚さ、点検者による判定、およびSOMとSVMによる判定との一致・不一致を示す。



図-2 揚炭棧橋のコンクリート床版

| 測定点番号 | 推定部材厚 (mm) | Row | Col | SOM     | SVMの判定 | 人による判定 | SOMとの判定不一致 | SVMとの判定不一致 |
|-------|------------|-----|-----|---------|--------|--------|------------|------------|
| 1     | 184.156    | 22  | 52  | 200-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 2     | 242.698    | 43  | 47  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 3     | 230.156    | 43  | 47  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 4     | 165.41     | 20  | 51  | 200-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 5     | 265.367    | 43  | 47  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 6     | 209.24     | 21  | 51  | 150-80  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 7     | 300.725    | 42  | 44  | 150-60  | 健全     | 欠陥     |            | x          |
| 8     | 231.587    | 48  | 46  | 200-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 9     | 154.959    | 34  | 9   | 200-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 10    | 282.744    | 42  | 44  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 11    | 210.952    | 21  | 51  | 150-80  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 12    | 260.13     | 46  | 29  | Health  | 欠陥     | 欠陥     | x          |            |
| 13    | 216.085    | 37  | 52  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 14    | 291.943    | 47  | 29  | 150-80  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 15    | 236.423    | 38  | 51  | 150-60  | 欠陥     | 欠陥     |            |            |
| 16    | 325.564    | 42  | 44  | 150-60  | 欠陥     | 健全     | x          | x          |
| 17    | 274.679    | 20  | 50  | Health  | 欠陥     | 健全     |            | x          |
| 18    | 480.573    | 1   | 37  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 19    | 340.379    | 42  | 44  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 20    | 348.146    | 42  | 44  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 21    | 314.576    | 36  | 41  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 22    | 323.368    | 38  | 39  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 23    | 291.73     | 39  | 23  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 24    | 381.57     | 41  | 45  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 25    | 352.213    | 36  | 41  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 26    | 322.824    | 27  | 54  | 200-100 | 欠陥     | 健全     | x          | x          |
| 27    | 349.512    | 36  | 41  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 28    | 413.976    | 41  | 45  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 29    | 351.401    | 19  | 48  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 30    | 309.397    | 42  | 44  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 31    | 406.897    | 36  | 41  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |
| 32    | 370.554    | 41  | 45  | 150-60  | 健全     | 健全     | x          |            |
| 33    | 352.861    | 14  | 47  | Health  | 健全     | 健全     |            |            |

表-1

表では推定厚さが 300mm 以下の欄をグレーで表示している。この結果では推定厚さが 300mm 以下の部分とサポートベクトルマシン(SVM)による判定は比較的良好一致しているが、自己組織化マップ(SOM)とは不一致の部分が多い。自己組織化マップで不一致となる判定の個数を対応するセルに記入したものを図-3に示す。マップにより不一致点は全て健全部(白)との境界近くにあり、いずれも、かろうじて欠陥に分類されたが健全に近い欠陥であることがわかる。

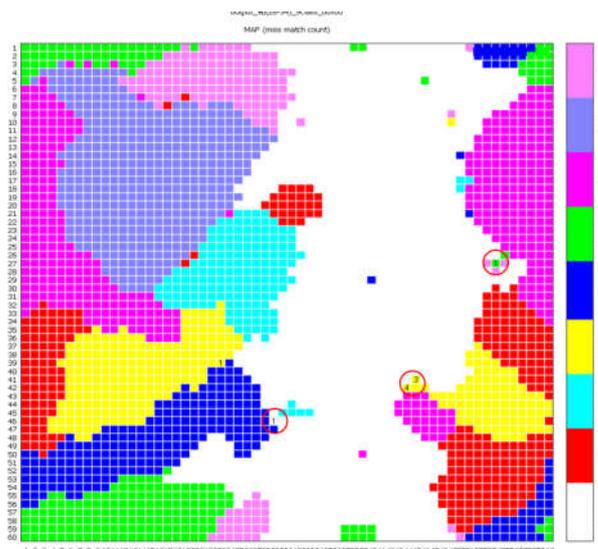


図-3 自己組織化マップとの不一致点

#### 4. 考察

標準的な欠陥を持つ試験体を学習した自己組織化マップとサポートベクトルマシンを用いて、実構造物の欠陥の大きさや規模の推定を行うことができることを示した。

$\Phi 200\text{mm}$  深さ 60mm のように半径が大きいものは欠陥部と健全部で違いがはっきりしており誤判断が少ないが、 $\Phi 50\text{mm}$  深さ 60mm のような深さに比べて半径が小さいものについては、自己組織化マップからもわかるように、判別するのが難しく、精度を高めるには周波数の選択など検討する必要があることが判明した。

自己組織化マップでは単にどの欠陥であるかが推定されるだけでなく、マップ上で他のどの欠陥に近い位置にあるかも判断でき、より多くの情報を得ることができる。このシステムを用いて、今後はより多くの種類の欠陥についての学習を行い、実構造物での判定結果と比較して推定の精度を高めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) T.コホネン：自己組織化マップ 改訂版，丸善出版，2012
- 2) 島田，安永，歌川，黒田：打音検査への機械学習の適用，土木学会年次講演集，2018