

## 打音検査への機械学習の適用

佐藤工業(株) ○黒田千歳、歌川紀之※1

筑波大学 島田拓夢、小松弘人、川原佑宇紀、安永守利※2

### 1. はじめに

最も手軽なコンクリート構造物の浮きや剥離を検出するための検査方法として現在も広く行われている打音検査は、その結果の判定に熟練を要するため、計測結果を定量化する技術、定量化された計測結果から健全部と欠陥部を判別する方法がいくつか提案されているが、決定的な手法は定められていない。

今回、打音検査の計測結果に対して、主成分分析(Principal Component Analysis : PCA)によるクラスタリングと、自己組織化マップ(Self Organizing Map : SOM)などの機械学習を用いた判定を試みた結果について報告する。

### 2. 検査対象

打音検査は、コンクリート円形空洞試験体で行った。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  $\Phi 5\text{cm} \sim 30\text{cm}$ 、深さ 1cm $\sim 10\text{cm}$  のいくつかの組み合わせについて制作されている。打音のデータ収録は当社で開発され用いられている打音検査システム「健コン診断ポータブル」で行った。

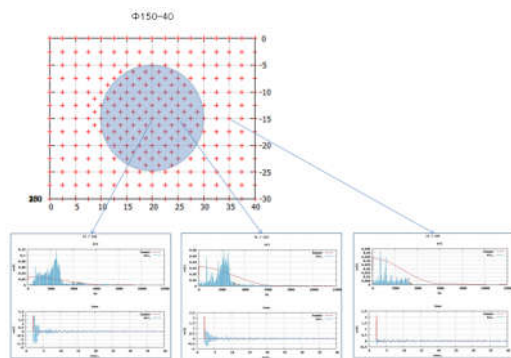


図-1

### 3. 計測結果の分析

打音はインパルスハンマーと検査面に密着させた収録マイクにより行い、収録した音圧波形から求めた周波数分布を入力ベクトルとして以下の分析手法を適用する。

#### 3-1. 主成分分析

主成分分析は相関のある多数の変数から、相関のない少数で全体のばらつきを最もよく表す主成分と呼ばれる変数を合成する多変量解析の一手法である。変数間の相関が大きい場合は少ない次元数でデータの主な構造を表すことができる。

はじめに  $\Phi 150$  深さ 40mm の空洞について、図-1のように欠陥部とその周囲の健全部をインパルスハンマーで格子状に打音した結果についてFFTにより周波数分布を求め、それについて主成分分析を行った結果を示す。図には欠陥部と健全部の代表的な周波数分布も示している。

$\Phi 150$  深さ 40mm の空洞での主成分分析の結果を第1成分を横軸、第2成分を縦軸にとり、健全部を●、欠陥部は○でプロットすると図-2のようになった。この場合は健全部が狭い範囲に集中し、欠陥部は健全部と離れたところに広く分布するのがわかる。

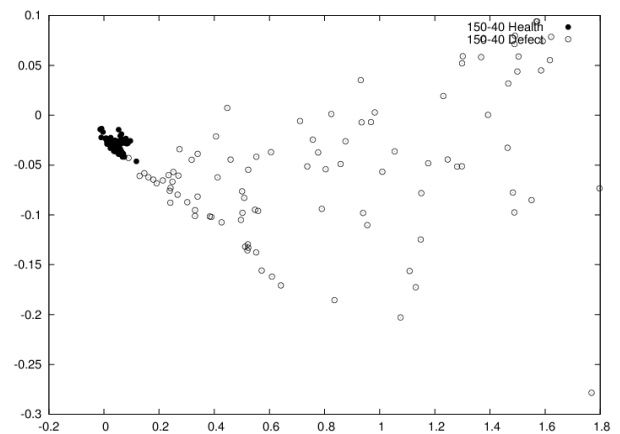


図-2

また、深さ 40mm と 60mm のデータを合わせたものについて主成分分析を行った結果は図-3のようになった。図では深さ 40mm の健全部と欠陥部をそれぞれ●と○、深さ 60mm では■と□で表示している。深さ 40mm と深さ 60mm の欠陥部(○と□)が分離しており、異なる種類の欠陥もこのようにして判別できる可能性がある。

キーワード: 主成分分析, 自己組織化マップ(SOM), 打音法

連絡先: ※1 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山14-10 佐藤工業株式会社 技術研究所

※2 〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 (集積システム研究室)

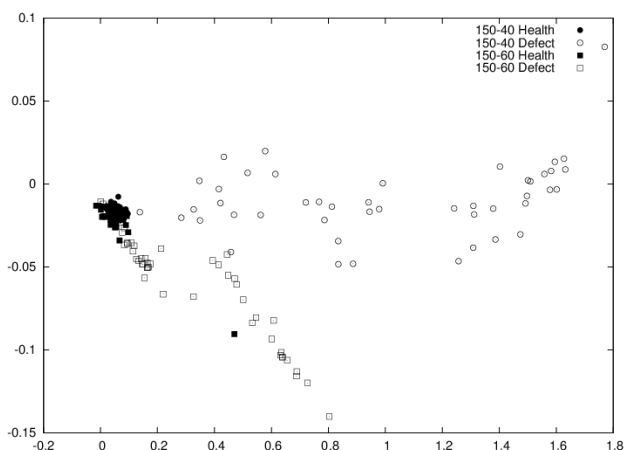


図-3

### 3-2. 自己組織化マップによる分析結果

自己組織化マップは脳皮質の視覚野をモデル化したニューラルネットワークの一種である。教師なし学習により、一般に2次元へのマップを作成してトポグラフィックなクラスタリングが得られる。

Φ150 深さ 40mm と 60mm の空洞について、図-4に示すように

- 0 : マイクを境界位置に置き欠陥側を打音
- 1 : マイクを欠陥位置に置き欠陥位置を打音
- 2 : マイクを健全位置に置き健全位置を打音
- 3 : マイクを境界位置に置き健全側を打音

の4つの領域についてそれぞれランダムに100箇所ずつ打音し、合計800個のデータのうち約260個をテストデータとして選び、残りを10×10の自己組織化マップにより学習した結果は図-5のとおりである。例えばマップ上の”40\_1”には深さ40mmの欠陥部が対応している。図より深さ40mmと60mmの欠陥部(\*\_0, \*\_1)と健全部(\*\_2, \*\_3)がそれぞれクラスタリングされているのがわかる。テストデータのこのマップへの対応(個数)は、表-1に示したように、異なる径での健全部の混同や境界上での相違はあったものの、欠陥部が健全部、または健全部が欠陥部に誤判断されることは殆どなかった。

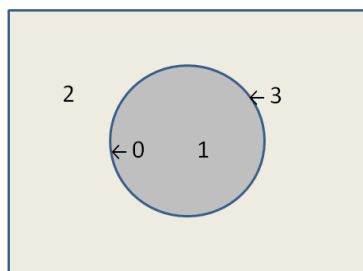


図-4



図-5

| マップ |               | Φ40 |               |    |               | Φ60 |               |    |               |
|-----|---------------|-----|---------------|----|---------------|-----|---------------|----|---------------|
|     |               | 欠陥  | 境界<br>(欠陥部打音) | 健全 | 境界<br>(健全部打音) | 欠陥  | 境界<br>(欠陥部打音) | 健全 | 境界<br>(健全部打音) |
| Φ40 | 欠陥            | 19  | 15            | 0  | 0             | 0   | 0             | 0  | 0             |
|     | 境界<br>(欠陥部打音) | 9   | 24            | 0  | 0             | 0   | 0             | 0  | 0             |
|     | 健全            | 0   | 0             | 18 | 11            | 0   | 0             | 4  | 0             |
|     | 境界<br>(健全部打音) | 0   | 1             | 3  | 29            | 0   | 0             | 0  | 0             |
| Φ60 | 欠陥            | 0   | 0             | 1  | 0             | 31  | 2             | 0  | 0             |
|     | 境界<br>(欠陥部打音) | 0   | 0             | 2  | 0             | 11  | 20            | 0  | 0             |
|     | 健全            | 0   | 1             | 16 | 3             | 0   | 0             | 13 | 0             |
|     | 境界<br>(健全部打音) | 0   | 0             | 12 | 4             | 0   | 4             | 7  | 6             |

表-1

### 4. まとめ

打音検査の計測結果に対して、主成分分析による欠陥と健全のクラスタリングや、種類が異なる欠陥の判別が自己組織化マップによる機械学習によって可能であることを示した。今後は、試験体による学習結果を実構造物に適用して、どのような健全度の判定ができるかどうか検討する予定である。

### 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：自己組織化マップ(SOM)による打音法の探査性能の向上，日本非破壊検査協会平成28年度 秋季講演大会，2016
- 3) 川端，別府，園田，福井：打音法によるコンクリート構造物劣化診断への自己組織化マップの適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1763-1768，2011