

機械学習の手法を用いた打音診断 — 一回帰モデルによる欠陥サイズの推定 —

佐藤工業 正会員 ○黒田 千歳, 歌川 紀之
筑波大学 安永 守利

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、深さであるのか判定する技術の開発を進めている。これまで学習された規模の欠陥に対し、誰が検査をしても、同様な結果（有無、規模）が得られることを目標に開発を進めてきた。

現地での検査では、学習していない規模の欠陥についても判定が必要となる。20種類の大きさ、深さの組合せの欠陥を持つ試験体について、一部の欠陥を学習した自己組織化マップを用いて、学習に使用していない未知の欠陥がどのように判定されるか報告済みである²⁾。自己組織化マップは多クラス分類問題に適用できるが、回帰問題として一部の欠陥を学習し、未学習の欠陥の大きさ、深さを連続値で推定することもできる。本稿ではこれにより得られた結果について報告する。

2. 学習対象

学習と検証に使用したコンクリート円形空洞試験体は、図-1に示したような全体の幅2m、高さ1.5m、厚さ0.3mのコンクリート躯体に、20種類の発泡スチロールの円形板（厚さ5cm、大きさ5～30cm、深さ（かぶり）1～10cm）が埋め込まれているものである。8種類の欠陥部、および欠陥以外の健全部についてランダムに各々約100回打撃して採取した打音データを学習とテストのため用いた。

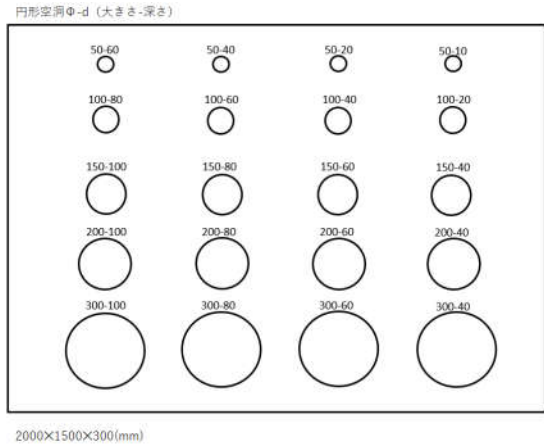


図-1 円形空洞試験体

3. 学習

マイクで収録された打撃データより、FFTにより得られる周波数分布を512次元の入力ベクトルとして回帰モデルに与える。入力層512ノード、中間層128ノード、中間層32ノード、および出力層2（大きさ、深さ）の4層からなるニューラルネットワークとし、平均自乗誤差を損失関数として、選択した欠陥の大きさと深さを与えて学習を行う。

図-2の大きさの欠陥の一番深いものと浅いもの（青で示す）を学習してテストデータについて判定した結果を度数分布で表示すると図-3のようになる（右上の大きさ50mm深さ10mmの欠陥は劣化により対象外とする）。上が大きさ、下が深さで、正しい位置をオレンジで示す（度数は1とする）。これは学習された大きさ200mm、深さ100mmの欠陥の例で、ほぼ真値が得られていることがわかる。一方、学習されていない大きさ200mm、深さ60mmについては図-4のようになり、推定された深さの分布は真値に近いものの、大きさについては正しい値が正確には推定されなかった。

キーワード 打音検査, 機械学習, 回帰モデル

連絡先 〒300-2658 茨城県つくば市諏訪 C30 街区 1 佐藤工業（株）技術センター土木研究部 TEL. 070-3306-7397

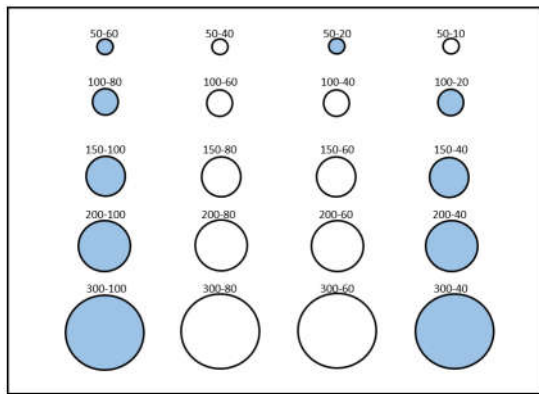


図-2 学習した欠陥

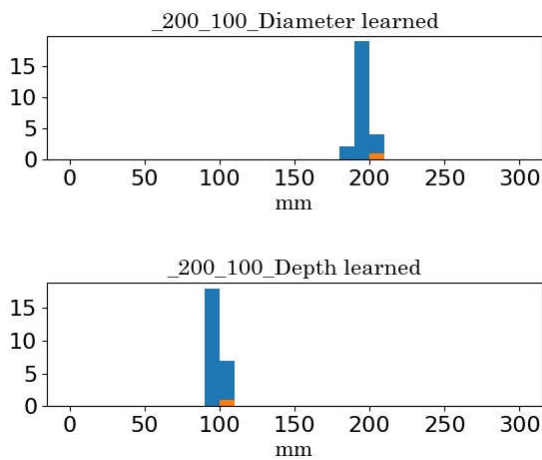


図-3 判定結果 (大きさ 200mm, 深さ 100mm)

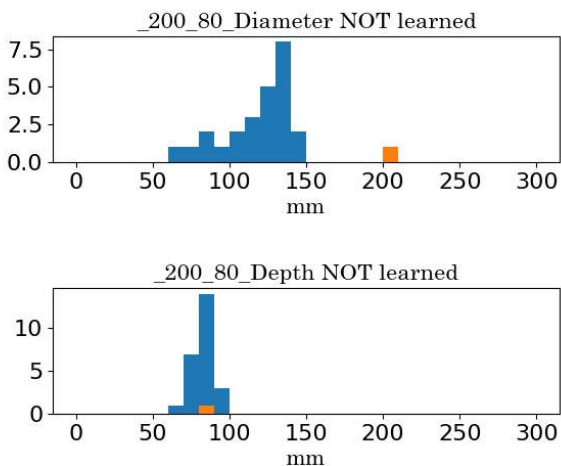


図-4 判定結果 (大きさ 200mm, 深さ 60mm)

各欠陥の大きさと深さの推定値の平均と真値との差は表-1 のようになった。

大きさの推定値が真値とかなり違うものもあるが、深さの推定値は未学習の欠陥も含めて概ね真値に近いものとなっている(健全部については、真値は不明なので推定値の平均のみを示した)。

表-1 推定結果

種類	大きさ	深さ	推定大きさの平均	推定深さの平均	差(推定大きさ)	差(推定深さ)	学習
D50_20	50	20	50	21	0	1	
D50_40	50	40	51	37	1	-3	未学習
D50_60	50	60	50	60	0	0	
D100_20	100	20	101	20	1	0	
D100_40	100	40	57	29	-43	-11	未学習
D100_60	100	60	78	69	-22	9	未学習
D100_80	100	80	100	80	0	0	
D150_40	150	40	149	42	-1	2	
D150_60	150	60	150	97	0	37	未学習
D150_80	150	80	118	81	-32	1	未学習
D150_100	150	100	148	99	-2	-1	
D200_40	200	40	199	40	-1	0	
D200_60	200	60	79	60	-121	0	未学習
D200_80	200	80	120	83	-80	3	未学習
D200_100	200	100	197	100	-3	0	
D300_40	300	40	300	40	0	0	
D300_60	300	60	175	37	-125	-23	未学習
D300_80	300	80	146	39	-154	-41	未学習
D300_100	300	100	300	100	0	0	
健全	-	-	103	71	-	-	未学習

単位: mm

4. 考察

円形空洞試験体のうち、各陥の一番深いものと浅いものを学習した回帰モデルを用いて、未学習の欠陥モデルについてそれぞれの大きさ、深さがどのように判定されるか示した。本結果より、実構造物についても、学習した大きさ、深さの範囲であれば、欠陥の大きさ、深さを正しく推定することが期待される。今後は、学習する欠陥の種類を変えて推定の精度を高め、他の判定方法とも合わせて、より多くの実構造物での欠陥推定の可能性を検証する予定である。

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) 黒田千歳，歌川紀之，安永守利：機械学習の手法を用いた打音診断，土木学会第76回年次学術講演集，VI-329，2021年9月