

# NN を用いた打音による腐食ひび割れ判定結果に及ぼす最大衝撃力の影響

防衛大学校 学生会員 ○福井 智大  
防衛大学校 正会員 黒田 一郎

## 1. はじめに

近年、打撃応答を用いた検査に AI 技術の導入が多く提案されている。これら AI 技術を応用した検査手法では、検査前の学習に使用する教師データを収集した上で、検査対象となるテストデータを取得する手順を踏むが、両データを得る際の打撃条件の相違が判定結果に及ぼす影響については未だ十分に検討されていない現状にある。そこで著者らは、これまでに鋼球の落下衝突による打音を入力データとしたニューラルネットワークによる腐食ひび割れ判定を対象として、教師データとテストデータでの打音収録時の条件の相違が判定結果に及ぼす影響について検討してきた<sup>1,2)</sup>。しかしながら、これらの検討では打撃条件を一定とする観点から打音の収録に鋼球の落下衝突を採用しており、実構造物を対象とした現場での測定を鑑みれば、ハンマによる打撃に比べて実用性に欠けるという点が指摘できる。そこで、本研究は同一の供試体、NN を用いて、ハンマによる打音収録を行った場合の教師データとテストデータの双方においてハンマの打撃条件を同一としたストレート判定と、異なる条件としたクロス判定の両方（図-1）を実施し、教師データとテストデータでの最大衝撃力の相違が判定結果に及ぼす影響について検討した。

ひび割れ面では腐食ひび割れが観察されたが反対側のかぶりが 77 mm と大きい衝突面には腐食ひび割れは認められず外観では鉄筋の腐食を検知できない条件である。

供試体への打撃の入力はハンマによって行い、その際の打音を衝突面の直上 300 mm の位置に設置したマイクロフォンによって収録した。また、打撃時のハンマの最大衝撃力の大きさを表-2 に示す条件で 3 段階の階級に分けた。

収録した音圧時刻歴波形は、フーリエ変換によりスペクトルに変換した後に、最大値が 1.0 になるように正規化処理を施した。音圧時刻歴波形をサンプル長さ 0.04 s で切断してからフーリエ変換しているのでスペクトルの周波数間隔は 25Hz であり、一つのスペクトルは 500~5000Hz の帯域で 181 個の特徴量を持つ。このスペクトルを特徴量として、入力層と中間層 1 層と出力層だけで構成されるニューラルネットワークモデルを用いた鉄筋の腐食ひび割れの判定を行った。入力データは、供試体の種類や収録時点の収録条件の違いによって、C<sub>0</sub>~C<sub>6</sub>、N<sub>0</sub>~N<sub>6</sub> といった 8 つの区分に分けられる。各区分では、供試体 1 体につき 16 回鋼球を落下衝突させて打音収録を行うので、一つの区分は、64 個の入力データで構成される。C<sub>0</sub> から N<sub>6</sub> まで全 8 区分あるので、区分全体で 512 個の入力データからなる入力データ群となり、これをハンマの最大衝撃力の階級ごとに用意した。使用

## 2. 実験概要

供試体は、RC 壁の一部を模した寸法 300×300×120 mm の矩形で D13 鉄筋を 4 本配している（図-2）。鉄筋の腐食方法は電食である。目標腐食率は最終的に 6% と設定し、腐食の前後で手動ハンマによる打撃を行った。表-1 に示すように供試体 8 体のうち 4 体を電食に供し、残りの 4 体は電食させない管理供試体である。かぶりが 30 mm と小さい腐食ひ

表-1 供試体と入力データ区分一覧

供試体番号	実験経過			
	腐食率 0%	1%	3%	6%
1	打音収録	打音収録	打音収録	打音収録
2	電食前	電食	電食	電食
3	打音収録	打音収録	打音収録	打音収録
4	電食前	電食	電食	電食
区分	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>6</sub>
5	打音収録	打音収録	打音収録	打音収録
6	電食前	電食	電食	電食
7	打音収録	打音収録	打音収録	打音収録
8	電食前	電食	電食	電食
区分	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>6</sub>

表-2 ハンマの最大衝撃力の階級

ハンマの最大衝撃力 (N)	階級		
	弱 Soft	中 Medium	強 Hard
	1000 - 1499	1500 - 1999	2000 - 3000

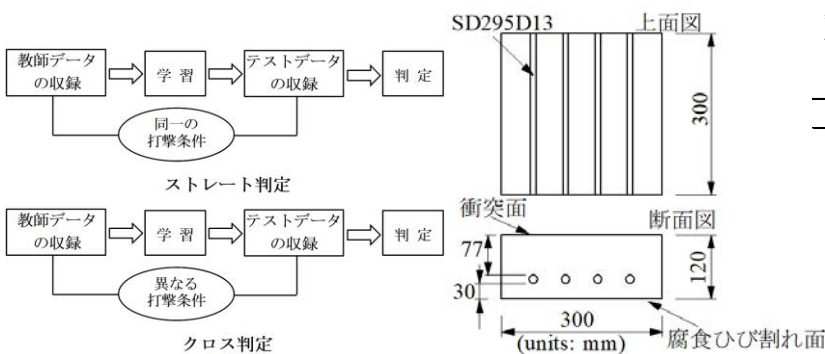


図-1 ストレート判定とクロス判定

図-2 供試体諸元

キーワード 非破壊検査, 打音, 鉄筋腐食ひび割れ, ニューラルネットワーク, 最大衝撃力

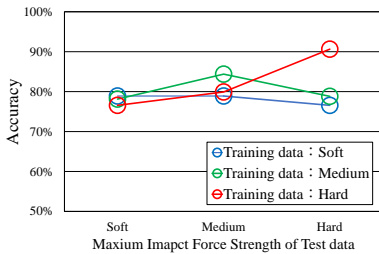
連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL : 046-841-3810

表-3 入力データのグループ分け

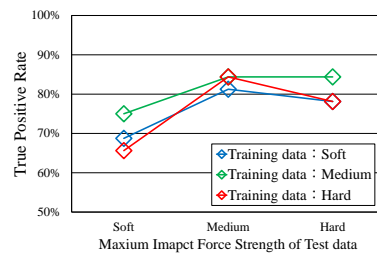
グループ名	選択元の区分 (表-1)	状態	教師データでの 選択数	テストデータでの 選択数
陽性グループ	C <sub>1</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>6</sub>	実際に腐食ひび割れあり Actual Positive	32	32
陰性電食前グループ	C <sub>0</sub> , N <sub>0</sub>	実際に腐食ひび割れなし Actual Negative	64	64
陰性電食後グループ	N <sub>1</sub> , N <sub>3</sub> , N <sub>6</sub>	実際に腐食ひび割れなし Actual Negative	—	32

表-4 判定条件一覧

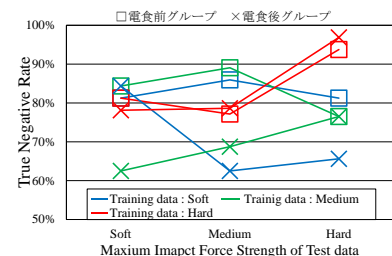
判定条件	教師データ Training data	テストデータ Test data
ストレート 判定	Case1 弱 Soft	弱 Soft
	Case2 中 Medium	中 Medium
	Case3 強 Hard	強 Hard
クロス 判定	Case4 弱 Soft	中 Medium
	Case5 弱 Soft	強 Hard
	Case6 中 Medium	弱 Soft
	Case7 中 Medium	強 Hard
	Case8 強 Hard	弱 Soft
	Case9 強 Hard	中 Medium



(a) 正解率



(b) 真陽性率



(c) 真陰性率

(電食前グループおよび電食後グループ)

図-3 腐食率3%での判定結果

する入力データは、この入力データ群を腐食の有無や収録条件の違いによってグループ分けし、そこから一定の規則に基づいて選択した(表-3)。腐食ひび割れの判定は、スペクトルの入力層への入力に対して、一つだけ設けられた出力層からの出力値の大きさで判定を行った。出力値は、0.0~1.0の範囲の値となり、学習過程においては、腐食ひび割れありの教師データには1.0を、無しの教師データには0.0を設定し、テストデータの判定の際には、0.5以上を腐食ひび割れあり、0.5未満を無しと判定した。

### 3. 実験結果

本研究で実施した判定条件を表-4に示す。教師データとテストデータでハンマの最大衝撃力の階級(表-2)を同一としたストレート判定と、異なるものとしたクロス判定の計9種類の条件で腐食ひび割れの判定を行った。

腐食率3%の場合の正解率、真陽性率および真陰性率を図-3に示す。図-3(a)より正解率は、ストレート判定での結果が最も高く、この際ハンマの最大衝撃力が大きいほど正解率が向上していることがわかる。一方、クロス判定においては、教師データとテストデータで最大衝撃力が異なることで、ストレート判定に比べて正解率が低下しており、特に判定条件Case5およびCase7(表-4)では著しく正解率を減じている。このことから、打音収録においては、ハンマの最大衝撃力を教師データとテストデータで同程度の大きさにすべきであるということが示唆される。

次に、クロス判定において正解率の低下に繋がった因子を分析するために、各判定条件の真陽性率と真陰性率について整理し、ここでは特に正解率の低下が著しかったCase5およびCase7に着目する。図-3(b)より、Case5の真陽性率は正解率(図-3(a))と同等の値を示しており、Case7では

ストレート判定のCase3よりも真陽性率が高いことから、正解率の低下に真陽性率の低下が起因しているとは考え難い。一方の真陰性率は、Case5、Case7ともにストレート判定のCase3に比べて真陰性率(特に電食後グループ)が小さく、即ち、実際には腐食ひび割れが無いのにも拘わらず陽性と判定されてしまった偽陽性のテストデータが多かったことを表している(図-3(c))。よって、偽陽性のテストデータがクロス判定Case5、Case7での正解率の低下を招いたと考えられる。

### 4. まとめ

以下に得られた知見を示す。

- (1) 打音収録時のハンマの最大衝撃力の大きさが教師データとテストデータで同一の場合、最大衝撃力が大きいほど正解率は向上する。
- (2) 教師データとテストデータの最大衝撃力の大きさが異なる場合は、同一の場合と比べて正解率が低くなり、教師データとテストデータの最大衝撃力の大きさを概ね同程度にすることが求められる。正解率が低下する主な要因として、偽陽性の判定増加が挙げられる。

### 参考文献

- 1) 福井智大, 黒田一郎: ニューラルネットワークを用いた打音スペクトルの分析による鉄筋腐食ひび割れ判定手法に関する基礎的研究, 構造工学論文, Vol.68A, pp.661-670, 2022.
- 2) 福井智大, 黒田一郎: NNを用いた腐食ひび割れ判定結果に及ぼす入力打音データ収録条件の影響, 土木学会第49回関東支部技術研究発表会, V-22, 2022.