

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

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（例えば多田らの研究¹⁾）。これらAI技術に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、本研究は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、学習で使用する教師データと判定の対象となるテストデータの双方において打音収録時の打撃の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た。

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、腐食の前後で鋼球による落下衝突実験を行った。表-1に示すように供試体8体の内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。

衝突実験は、供試体への打撃の入力を鋼球の自由落下衝

突によって行い、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。実構造物を対象とした現場での測定を鑑みれば、鋼球の落下衝突よりもハンマによる打撃の方が実用性は高いが、本実験では打撃条件としての衝突速度を制御するために、表-2に示す条件で鋼球を自由落下により衝突させることとした。

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、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ためスペクトルの周波数間隔は25 Hzであり、一つのスペクトルは500～5000 Hz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、C₀～C₆、N₀～N₆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。C₀からN₆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、これを落下衝突条件ごとに用意した。使用する入力データは、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に判定を行った。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

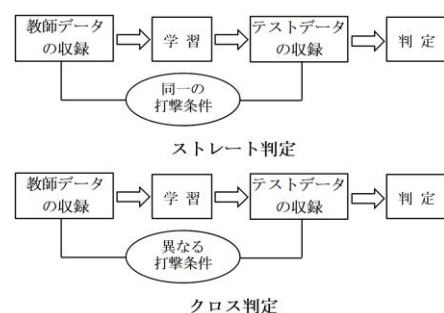


図-1 ストレート判定とクロス判定

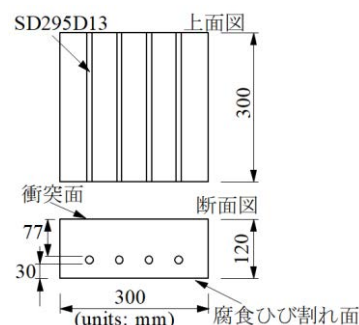


図-2 供試体諸元

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	電食前	打音収録	電食	打音収録
2	電食	打音収録	電食	打音収録
3	電食前	打音収録	電食	打音収録
4	電食	打音収録	電食	打音収録
区分	C ₀	C ₁	C ₃	C ₆
5	電食前	打音収録	電食	打音収録
6	電食	打音収録	電食	打音収録
7	電食前	打音収録	電食	打音収録
8	電食	打音収録	電食	打音収録
区分	N ₀	N ₁	N ₃	N ₆

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

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 E-mail : em60021@nda.ac.jp

表-2 鋼球の落下衝突条件

落下衝突条件	直径 (mm)	落下高さ H_f (mm)	質量 (g)	運動エネルギー E (J)	運動量 m_0 (kgm/s)	衝突速度 v_0 (m/s)
H50	20	50	31	0.015	0.031	0.99
H810	20	810	31	0.246	0.123	3.98

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_1, C_3, C_6	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_0, N_0	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_1, N_3, N_6	実際に腐食ひび割れなし Actual Negative	—	32

表-4 クロス判定の判定条件

クロス判定の条件 Symbol	鋼球の落下衝突条件 (表-2)	
	教師データ	テストデータ
	Training data	Test data
a	H810	H50
b	H50	H810

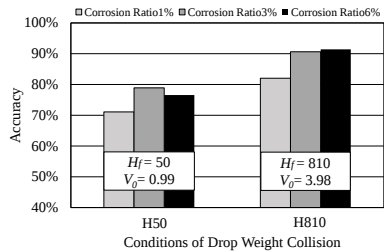


図-3 ストレート判定での正解率

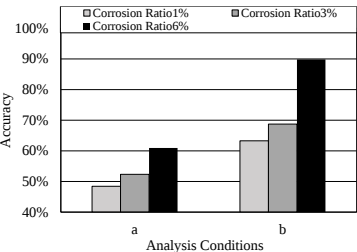


図-4 クロス判定での正解率

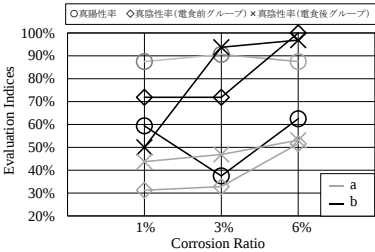


図-5 判定条件 a, b での真陽性率と真陰性率

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

ストレート判定の結果を図-3 に示す。これらの判定においては、教師データとテストデータで鋼球の落下衝突条件が揃えてあり、どちらも同じ落下高さである。いずれの腐食率においても、落下高さ、衝突速度が大きい H810 での正解率が高いことが認められる。

次に、教師データとテストデータとで鋼球の落下衝突条件を異なるものとしたクロス判定を試みた。表-4 はクロス判定における判定条件である。前述のストレート判定の結果 (図-3) を比較対象として、a は、教師データを H810、テストデータを H50 にしたもので、c は、それとは逆に教師データを H50、テストデータを H810 としたものである。判定条件 a, b の正解率の比較を図-4 に示す。教師データとテストデータの落下衝突条件が異なる判定条件 a, b では、判定条件 b での腐食率 6% の例外を除き、衝突条件が同一のストレート判定の結果 (図-3) に比べて、正解率が低下しており、特に、判定条件 a では、著しく正解率を減じている。正解率の低下に繋がった因子を分析するために、判定条件 a と b の真陽性率と真陰性率を整理して図-5 に示す。判定条件 a では、真陰性率がストレート判定の場合に比べて小さく、即ち、実際には腐食ひび割れが無いのに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。一方の判定条

件 b では、反対に真陽性率の低さが目立ち、偽陰性が多かった。これら偽陽性、偽陰性のテストデータが判定条件 a, b での正解率の低下を招いたと考えられる。

以上より、教師データとテストデータでの落下衝突条件の違いが正解率の低下を招き、その低下は腐食率が小さい段階で顕著であると言える。また、打音収録においては、落下衝突条件を教師データとテストデータとで同一にすべきであると指摘できる。

4. まとめ

以下にまとめを示す。

- (1) 打音収録時の鋼球の落下衝突条件が教師データとテストデータで同一の場合、鋼球の落下高さが高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落下衝突条件が異なる場合は、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落下衝突条件を同一にすることが求められる。正解率が低下する要因として教師データでの落下高さが高い場合には偽陽性の判定が増え、テストデータでの落下高さが高い場合には偽陰性の判定が増える傾向が認められる。

参考文献

1) 多田祐希, 三浦泰人, 中村光: 自己組織化マップを用いた電磁波レーダによる内部ひび割れ領域ならびに鉄筋腐食領域の検出に関する研究, 土木学会論文集, Vol.176, No.3, pp.158-170, 2020.