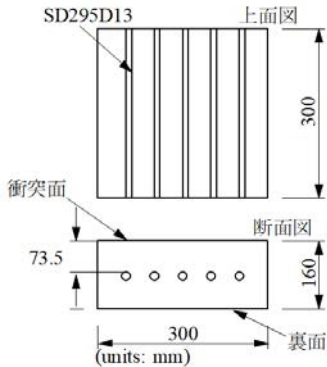


ニューラルネットワークを用いた打音スペクトル分析による腐食ひび割れ判定

防衛大学校 学生会員 ○河原 誠 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が、鉄筋腐食や腐食ひび割れの検知を目的としたAI技術の応用は少なく、未だ十分に検討されていない現状にある。そこで、本研究は鋼球の落下衝突衝時の打音を用いたニューラルネットワークによる鉄筋腐食に伴う腐食ひび割れ判定手法を提案し、その適用性を実験で確認するとともに、学習過程におけるepoch数の推移による評価指標の変化を調べた。



図－1 供試体諸元

2. 実験概要

供試体は、壁面の一部を模した寸法300×300×160 mmの矩形で、D13鉄筋を5本配している（図－1）。鉄筋の腐食方法は直流電流を流すことによる電食である。目標腐食率は1%、2%の2段階に設定し、腐食の前後で鋼球の衝突実験を行なった。供試体は全8体でその内の4体（Cor1～Cor4）を腐食させ、残りの4体（Non1～Non4）は腐食させない管理供試体である。鉄筋のかぶりは、検査対象である衝突面側、反対の裏面側ともに73.5mmであり、電食後は供試体側面に微細なクラックや一部錆汁が観察されたが、衝突面、裏面においては腐食ひび割れは認められず、衝突面と裏面を観察した限り鉄筋の腐食を検知できない条件である。

衝突実験においては、検査対象である衝突面に対して、表－1に示す条件で鋼球を自由落下によって衝突させ、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フォンによって収録した。

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0.02 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50Hzであり、一つのスペクトルは500～5000Hzの帯域で91個の特徴量を持つ。この打音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

表－1 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 (J)	運動量 (kgm/s)	衝突速度 (m/s)
H50	20	50	31	0.015	0.031	0.99
H180		180		0.055	0.058	1.88
H400		400		0.122	0.087	2.80
H810		810		0.246	0.123	3.98

表－2 入力データの区分一覧

収録時点	腐食供試体 Cor1～Cor4	管理供試体 Non1～Non4
腐食供試体の電食前（腐食率0%）	C ₀	N ₀
腐食供試体の腐食率1%	C ₁	N ₁
腐食供試体の腐食率2%	C ₂	N ₂

よって、C₀～C₂、N₀～N₂といった6つの区分に分けられる（表－2）。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N₂まで全6区分あるので、区分全体で384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て判定を行った。出力値は、0.0～1.0の範囲の値となり、学習

キーワード 非破壊検査、打音スペクトル、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：ikuroda@nda.ac.jp

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-2)	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 ₂	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 ₂	実際に腐食ひび割れなし Actual Negative	—	32

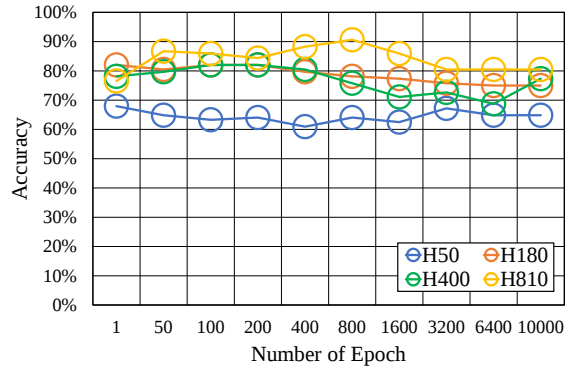


図-2 epoch 数と正解率の関係 (腐食率 2%)

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

評価指標である正解率、真陽性率とepoch数の関係を検討した。epoch数は、1回を含む50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400, 10000の10段階で正解率を比較した。なお、中間層のノード数は8個とした。

図-2に腐食率2%での正解率を示す。図より、落下衝突条件 (表-2) のH180, H400では、epoch数400で正解率が低下し始めるのに対し、H810では、epoch数400の段階はまだ上昇の途中であり、epoch数800を境に正解率を減じていることが分かる。H50では、epoch数を大きくしても正解率は向上しないという結果が得られたが、全体としては、概ねepoch数が大きくなるほど、過学習の傾向が見られると指摘できる。なお、腐食率2%では最大91%と高い正解率が得られた (H810, epoch数800)。

次に腐食率1%, 2%での真陽性率を図-3(a), (b)に示す。ここで、真陽性率は、実際に腐食ひび割れありのテストデータの内、どれだけが正解したかの割合を表す。真陽性率もepoch数が大きくなるにつれて緩やかに漸減しており、前述の正解率 (図-2) と概ね似た傾向を示している。また、H50, H180, H400での真陽性率に着目すると、正解率に比べて高い値を示しており、特にH180では、epoch数100

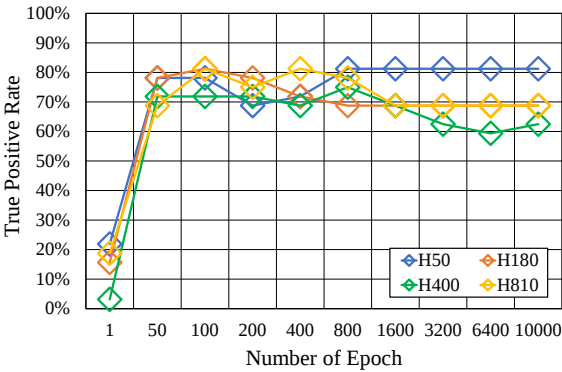


図-3(a) epoch 数と真陽性率の関係
(腐食率 1%)

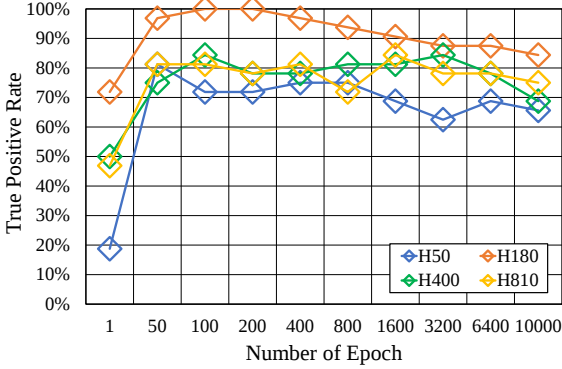


図-3(b) epoch 数と真陽性率の関係
(腐食率 2%)

で真陽性率が100%まで達している。H810においても、正解率よりは低いものの、80%程度の真陽性率が得られている。このことから、実際に腐食ひび割れがあるテストデータは正しく陽性と判定できているが、反対に腐食ひび割れが無いテストデータの判定結果は悪く、すなわち偽陽性の判定が多くなったことが正解率低下の要因であると考えられる。

以上より、本手法は、偽陽性が多い傾向にあり精密検査には適さないという反面、真陽性率の高い水準にあるので腐食ひび割れの見逃しを防ぐという観点からは、スクリーニング検査としての適用性は高いと言える。

4. まとめ

以下に得られた知見を示す

- (1) 打音スペクトル分析にニューラルネットワークを用いることで、腐食率2%では90%を越える高い正解率で腐食ひび割れの判定が可能であり、本手法の適用性が確かめられた。また、本手法は、実際に腐食ひび割れありのデータを正しく陽性と判定する真陽性率が高く、スクリーニング検査への適用が期待できる。
- (2) ニューラルネットワークの処理条件として、epoch数が一定の数を超えると過学習を招くことを確認した。