

鋼球の衝突によるコンクリートの表面振動を用いた機械学習による鉄筋腐食判定

防衛大学校 学生会員 ○鈴木 大地, 正会員 黒田 一郎

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の老朽化が問題視されており、鉄筋腐食の判定も代表的な課題の一つであり、効率的なメンテナンスのためには非破壊検査技術の導入が欠かせない。そこで簡易的な非破壊検査手法として、鋼球の衝突によるコンクリート表面振動を用いた機械学習¹⁾による鉄筋腐食判定法を提案しその有用性を実験で確認した。

2. 実験概要

供試体は、壁面の一部を模した寸法300×300×120mmの矩形で、D13鉄筋を4本配している(図－1, 写真－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。腐食率は6%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体を腐食させ、残りの4体は腐食させないコントロール供試体である。鉄筋のかぶり厚は、検査対象である打撃面側が77mmなのに対して、裏面は30mmと小さかったため(図－1参照)、裏面には微細なクラ

ックが生じて錆汁の溶出が見られた一方で、写真－1に示すように打撃面にはそれらは認められず、外観では鉄筋の腐食を検知できない条件である。

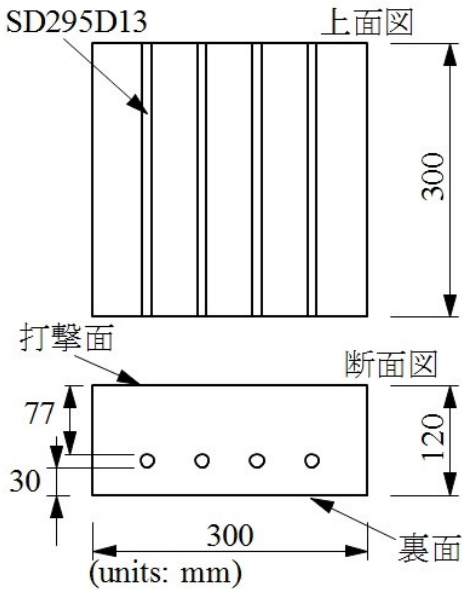
衝突実験においては、検査対象であるコンクリート表面に鋼球を自由落下によって衝突させ、コンクリートに接着した加速度計によって表面の振動加速度波形を測定・収録した。収録した振動加速度波形をフーリエ変換し、パワースペクトル $P(f)$ を得た。使用



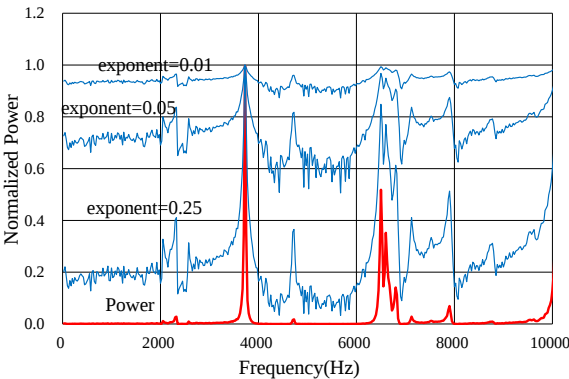
写真－1 打撃面

表－1 鋼球の諸元

	直径	落下高さ	質量	運動エネルギー	衝突速度	運動量
	D (mm)	h (mm)	M (g)	E (J)	v (m/s)	m_o
D2H810	20	810	31	0.2461	3.984	0.124



図－1 供試体の諸元



図－2 パワースペクトル

キーワード 鉄筋腐食, 表面振動, 非破壊検査, 機械学習, K近傍法

連絡先 〒239-8686横須賀市走水1-10-20 防衛大学校 Phone: 046-841-3810 ikuroda@nda.ac.jp

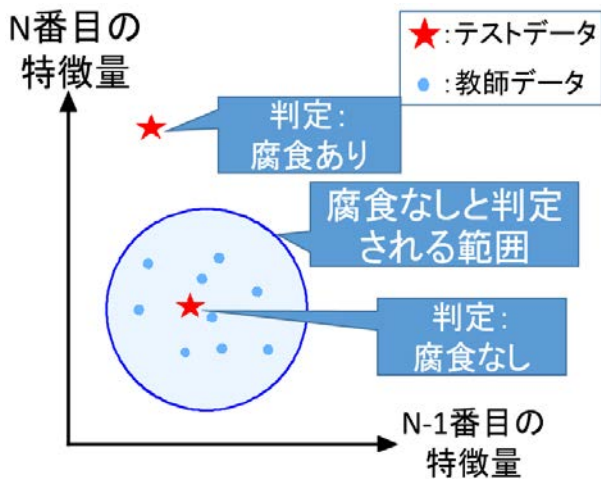


図-3 K近傍法の概念図

した鋼球の諸元を表-1に示す。図-2の赤線はこのようなして得たパワースペクトルを最大値によって正規化したものである。このパワースペクトルを特徴量として、機械学習の一種であるK近傍法⁹⁾によって腐食の有無を判定することを試みた。具体的には次の通りである。まず、500Hzから10000Hzの帯域を25Hz毎に分割した380個の周波数 f からなるパワースペクトル $P(f)$ を380次元の座標を持つベクトルデータとした。これは380次元のデカルト座標上の1つの点として表現可能である。腐食していないときに収録したパワースペクトルのベクトルデータの集合（教師データ）に対して、腐食後に収録したパワースペクトルのベクトルデータ（テストデータ）のデカルト座標上の位置を比較し、両者が近傍にあるならば、テストデータは教師データと区別がつかず腐食無しと判定される。反対に、十分な距離で離れているならテストデータは腐食していると判定できる（図-3参照）。ここでの距離はユークリッド距離で定義した。鉄筋腐食の判定においては、テストデータから教師データまでの距離の代表値を、教師データ（全24点）間の距離の代表値で除した値が一定の閾値1.2を上回っている場合を腐食と判定する。

3. 実験結果

パワースペクトルを用いてテストデータ数64個（内訳、腐食供試体の振動32個、腐食の無いコントロール供試体の振動32個）を用いて評価してみたところ、腐食の有無の正解率はおおよそ50%であり腐食の有無の判定は出来なかった。ここで、正解率は、腐食

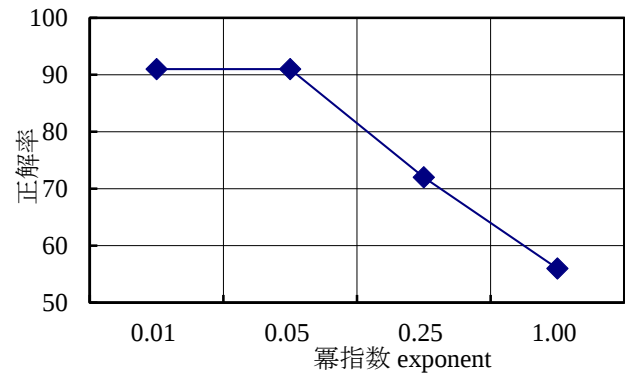


図-4 冪指数が正解率に及ぼす影響

をPositive、腐食無しをNegativeとした場合の、True PositiveとTrue Negativeのテストデータ数合計を、全てのテストデータ数64で除した割合で定義される。正解率が小さかった原因としては、パワースペクトルの値が飛び抜けて大きい部分の特徴量のみがユークリッド距離の算出に影響していて、値がほぼ0の他の大部分の特徴量がユークリッド距離の算出に寄与していないためと考えた。

そこでパワースペクトルの値をそのまま使うのではなく冪指数(exponent)0.25乗、0.05乗、0.001乗で冪乗処理を行ったスペクトル $P_{EX}(f)$ （図-2に青線で示す）を代わりに特徴量として分析を試みると、冪指数が0.05を下回ると、正解率が概ね90%まで改善され腐食の判定が可能となった（図-4）。正解率が向上した理由は、小さい冪指数を導入することにより、パワースペクトルに存在した値がほぼ0の特徴量が0.0から1.0の範囲の値となり、帯域内の全ての特徴量がユークリッド距離の算出に寄与するようになったためと考えられる。

4. まとめ

鋼球の衝突時のコンクリート表面振動のパワースペクトルを冪乗処理し、K近傍法を用いて分析することにより鉄筋の腐食を判定することが出来た。

参考文献

- 1) 佐相駿実, 勝木太, 日比野克彦: 機械学習を利用した打音法のコンクリート浮き部検出精度に関する研究, 土木学会第73回年次学術講演会概要集, V-170, pp.339-340, 2018.8.