

打撃応答のスペクトル分析による鉄筋腐食 RC 梁の残存曲げ耐力推定

防衛大学校 学生会員 ○間中 俊宏

防衛大学校 正会員 黒田 一郎, 山本 佳士, 古屋 信明

1. はじめに

鉄筋が腐食した鉄筋RC構造物の維持管理において、部材の現時点及び将来の残存耐荷性能の把握が必要である。そこで、供試体に打撃を与えてその応答のスペクトルを分析することによって鉄筋の腐食率を推定し、推定した腐食率を用いて残存曲げ耐力を推定する手法を検討した。

2. 打撃応答による腐食率の推定

鉄筋を電食によって腐食させたRC梁供試体を対象として、鋼球の衝突時の加速度応答を計測し、そのスペクトル特性の腐食前後の違いから鉄筋の腐食率を推定することを試みた。

RC梁供試体は、幅80mm×全高140mmの矩形断面であり、長さは1460mmと1000mmの2種類である。主鉄筋はD13(SD295)を有効高さ113mmで1本配し、スターラップはD6(SD295)を100mm間隔で配している。使用したコンクリートの水セメント比は60%である。供試体の一覧を表-1に示す。腐食率は5%と20%の2段階とし、通電時間によって目標とする腐食率をコントロールした。

図-1に、打撃応答の計測方法を示す。打撃時の振動に対して支承が及ぼす影響を配するために、供試体はワイヤによって吊り下げた。打撃は、直径30mmの鋼球を用いて落差200mmの振り子運動によって梁の端部に衝突させ、加速度応答は反対側の梁端部に接着した加速度計によってサンプリング速度50kHzにて計測した。

加速度応答をFFTによって分析した結果得られたパワースペクトルの一例を図-2に示す。スペクトルは、1200Hz前後でピークを示し、以降その整数倍の周波数ご

とにピークが現れている。そこで、最初のピークの周波数とパワー値をそれぞれ1次卓越周波数 f_1 、パワー値 P_1 と定義し、高周波数側の次のピークの周波数とパワー値についても2次卓越周波数 f_2 、パワー値 P_2 と定義した(図-2参照)。

腐食前後を比べると、 f_1 、 f_2 、 P_1 、 P_2 ともすべて腐食後の値は低減しているが、周波数 f_1 、 f_2 の変化よりも P_1 、 P_2 の変化の方が顕著である。そこで、 P_1 、 P_2 の腐食前後の比率と腐食率の関係を図-3にまとめた。縦軸は腐食後の P_1 、 P_2 の値(添字c)を腐食前の値(添字p)で除したものであり、パワー値比と定義する。また、判例中の記号Lは全長1460mmの供試体を、Sは1000mmの供試体を表す。いずれのケースでも腐食率が大きいほどパワー値比が小さくなっていることがわかる。

このことから、腐食前後に計測した加速度応答のパワースペクトルを分析してパワー値比を求めれば、図-3に示す腐食率との関係から腐食率を推定できる可能性が示される。さらに、鉄筋の腐食率と残存曲げ耐力の関係は既往の研究によって検討が進められており、例えば、本実験と同一の諸元の梁供試体を用いた実験結果¹⁾(図-4)を応用すれば、推定された腐食率を用いて残存曲げ耐力の推定に結び付けることも可能である。

3. パワー値比低減に及ぼす因子の検討

前章にて、打撃時の加速度応答のパワースペクトルのピーク値 P_1 、 P_2 が腐食前後に低減することを利用して腐食率を推定できることを示したが、腐食することによって生じる梁のどのような変状がピーク値の低減をもたら

表-1 供試体とパワースペクトル一覧

供試体名	全長(mm)	腐食率(%)	1次卓越周波数 f_1 (Hz)		f_1 におけるパワー		cP_1/pP_1
			腐食前 f_{1p}	腐食後 f_{1c}	腐食前 P_{1p}	腐食後 P_{1c}	
BL	1460	5	1260	1240	3.85E+00	1.50E+00	3.89E-01
BS	1000	5	1780	1740	1.90E+00	1.34E+00	7.04E-01
CL	1460	20	1180	1120	1.73E-01	5.64E-02	3.26E-01
CS	1000	20	1840	1678	4.86E+00	1.28E-02	2.64E-03
供試体名	全長(mm)	腐食率(%)	2次卓越周波数 f_2 (Hz)		f_2 におけるパワー		cP_2/pP_2
			腐食前 f_{2p}	腐食後 f_{2c}	腐食前 P_{2p}	腐食後 P_{2c}	
BL	1460	5	2440	2460	1.33E+00	6.77E-01	5.08E-01
BS	1000	5	3600	3483	2.50E+00	3.61E-01	1.44E-01
CL	1460	20	2440	2320	2.11E-01	3.69E-01	1.75E-01
CS	1000	20	3680	3115	5.09E+00	1.34E-03	2.63E-04

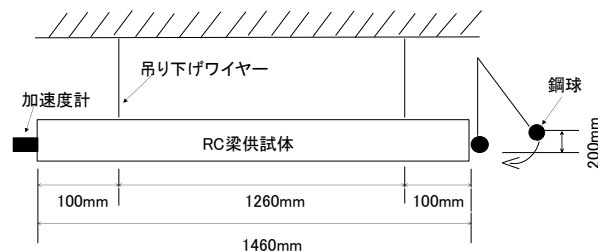


図-1 打撃応答の測定方法

キーワード：腐食鉄筋，打撃応答，残存曲げ耐力，スペクトル分析

連絡先：神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 黒田 一郎 TEL 046-841-3810 E-mail ikuroda@nda.ac.jp

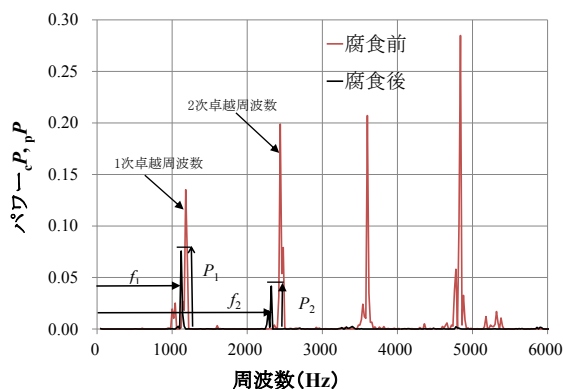


図-2 パワースペクトル

したかを明らかにするために FEM 解析による検討を行った。解析は 2 次元 4 節点矩形要素(310 要素)を用いて行い、解析によって得られた加速度応答を、実験によって得られた加速度応答と同様に FFT によって分析した。

腐食によって変化する因子として、鉄筋付着特性の変化とコンクリートの減衰特性の変化を仮定している。鉄筋付着特性の変化は、鉄筋要素とコンクリート要素を結ぶバネ定数を、剛結も含めて 4 段階変化させることによって表現した。一方、減衰特性の変化はコンクリート要素の減衰率を 6 段階変化させることによって表現した。

表-2 と、表-3 にバネ定数と減衰率を変化させた場合の解析結果から得られたパワースペクトルの諸値 f_1 、 f_2 、 P_1 、 P_2 を整理する。実験では、腐食率の増加に従って P_2 値が低下していったが(表-1)、バネ定数を変化させた検討(表-2)では、 P_2 値はバネ定数の変化とはほとんど無関係である。また、腐食率 5% 程度では鉄筋の付着は腐食前よりも強固になることが知られているものの、表-1、図-2 に示した実験結果では、腐食率 5% で既にパワー値比に変状を示しており、腐食による鉄筋付着特性の変化を以てパワー値比の低減を説明するのは難しい。次に、減衰率の変化の影響を示した表-3 をみれば、減衰率の増加によって、実験にて腐食率が変化したときと同じ傾向を示している。鉄筋が腐食すればその膨張によって周りのコンクリートに微細なひび割れを生じさせるため、これが原因となってコンクリートの減衰率を増加させたものと考えられる。

4. まとめ

打撃時の加速度応答のパワースペクトルの分析から、腐食率を推定できることを確かめた。腐食によってパワースペクトルの変化に影響を及ぼす要因が、減衰によるものであると FEM 解析で確認した。

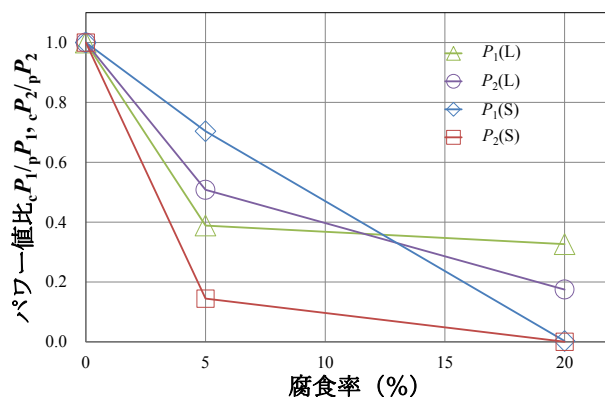


図-3 パワー値比と腐食率

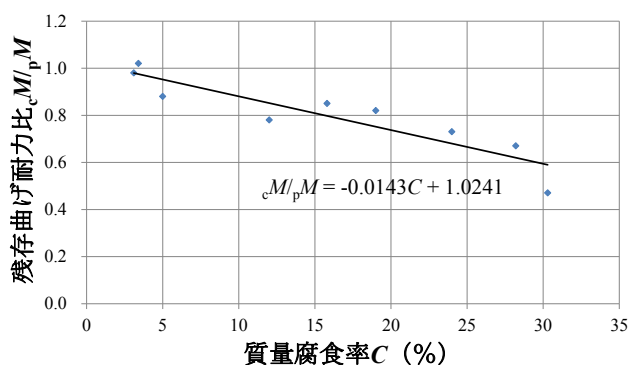


図-4 残存曲げ耐力比と質量腐食率

表-2 バネ定数とパワースペクトルの解析結果

ばね定数	f_1 (Hz)	P_1 (m^2/s^4)	f_2 (Hz)	P_2 (m^2/s^4)
∞	1230	3.0E+01	2470	1.2E+01
1730000	1230	3.0E+01	2430	3.0E+00
17300	1200	1.6E+01	2400	6.0E+00
173	1200	1.5E+01	2400	1.1E+02

表-3 減衰率とパワースペクトルの解析結果

減衰率 (%)	f_1 (Hz)	P_1 (m^2/s^4)	f_2 (Hz)	P_2 (m^2/s^4)
0	1230	3.0E+01	2470	1.2E+01
0.1	1230	2.4E+01	2470	9.5E+00
0.4	1230	1.3E+01	2470	4.3E+00
1	1230	3.7E+00	2470	8.6E-01
5	1230	1.0E-02	2470	8.8E-04
10	1230	2.4E-04	2470	1.9E-05

参考文献

- 1) 黒田、他：鉄筋腐食させた RC 梁の非破壊検査に基づく残存曲げ耐力算定に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.55A，pp.833-841，2009