

鋼材腐食RC梁のモード円適合による減衰比測定

防衛大学校 正会員 ○黒田 一郎
防衛大学校 菅原 隆司

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物内部の鋼材腐食に関する検査法としては、様々な手法が提案されている。打撃応答検査は、比較的扱いが容易であり、固有周波数や減衰比の評価が可能であるが、鋼材腐食の試験への応用に関してはまだ研究が少ない。本研究では、コンクリート表面を打撃した時の応答である加速度を用いて伝達関数による分析を行い、モード円適合によって求めた減衰比と鋼材腐食の関係を検討する。

2. 打撃応答の収録

本研究で用いた供試体のRC梁供試体の各諸元について図-1に示す。供試体LB,LCは、高さ140mm、幅80mm、長さ1460mmとし、D13(SD295)を主鉄筋として使用した。供試体SB,SCは、LB,LCと長さだけが異なり1000mmである。スターラップとしてはD6(SD295A)が100mm間隔で配置した。また供試体内部の主鉄筋に直流電流を通电することで鉄筋を電食させ、鋼材の腐食を再現した。目標腐食率は5%(供試体LB,SB)および20%(LC,SC)として通

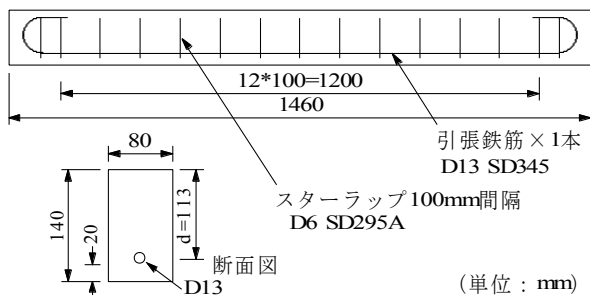


図-1 供試体の寸法諸元

電時間を設定した。主鉄筋のみ腐食させるために、スターラップが主鉄筋と接する部分には絶縁テープを巻いた。使用したコンクリートの水セメント比は60%である。

供試体は計測時の支承条件の違いによる影響を排除するため、床に敷き詰めた発泡スチロールの上に静置した。打撃は手動のハンマーによって与え、ハンマーに装着した圧電素子で打撃力を、供試体下面に接着した加速度計を用いてコンクリート表面の振動加速度を、それぞれ時刻歴波形として収録した。時刻歴波形の例を図-2(a),(b)に示す。

3. モード円適合による減衰比の算出

実験によって得られたコンクリート表面の加速度、速度、およびハンマーの打撃力の時刻歴波形にDFT処理を実施しパワースペクトルへと変換し、そこから伝達関数として、加速度と打撃力の比を表すアクセラランス、速度と打撃力の比を表すモビリティを得た。伝達関数のパワースペクトルの一例を図-3に示す。ここで、速度は、加速度の時間積分から求めたものを使用している。図から分かるように実験から得られる伝達関数では減衰比が比較的小さく、供試体の固有周期付近に卓越した共振峰が現れている。

伝達関数を用いて減衰比を求める手法の一つであるハーフパワー法では、共振峰の頂点の情報(パワーと周波数)および共振峰の裾野の形状から減衰比を算出する。しかし、離散的な数値処理を行なう制約から、頂点の情報が厳密に得られるのは、変換に使用した時刻歴データのサンプル長さ T が共振峰の頂点の周波数 f_0 に相当する周期 $T_0 (=1/f_0)$ の整数倍である場合に限られるために、ハーフパワー法によって求められた減衰比の値には誤差が避けられない。その誤差を回避する方法の一つとして、サンプル長さ T を極端に

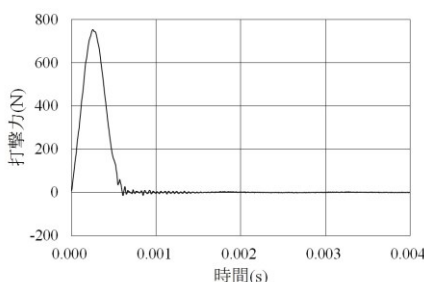


図-2(a) 打撃力の時刻歴波形の例

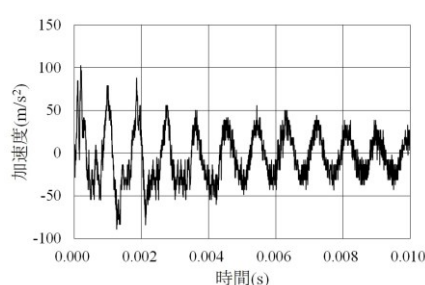


図-2(b) 加速度の時刻歴波形の例

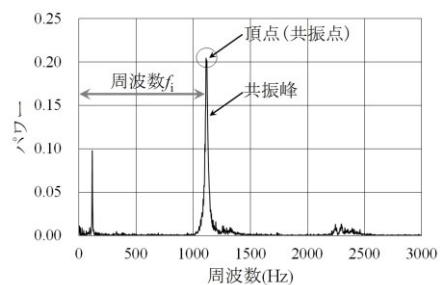


図-3 伝達関数のパワースペクトル

キーワード 鋼材腐食, 非破壊検査, 打撃応答, 減衰比, モード円適合

連絡先 〒239-0811 神奈川県横須賀市走水1-10-20 TEL. 046-841-3810 E-mail: ikuroda@nda.ac.jp

長くすることによって変換後のスペクトルの周波数間隔を小さくし、サンプル長さ T と共振峰の周期 T_f の比率を整数に近づける手法もあるが、打撃応答の振動としての持続時間は短いのでサンプル長さ T をいたずらに長くすれば、振動成分の信号(Signal)に対してノイズ(Noise)の比率が大きくなってしまい信号雑音比(S/N比)の低下という問題に直面する。

そこで、本研究では、サンプル長さの制約を受けずに減衰比を算出可能なモード円適合法¹⁾を採用した。この手法での減衰比算出の理論的な裏付けは文献1)に譲るが、大まかな手順は以下の通りである。まず、共振峰の頂点近傍のデータ点を数点選び、伝達関数の実部を横軸、虚部を縦軸とするナイキスト線図上に表わすと、図-4に示すように、近似的に円(ナイキスト円)を形作る。各データ点の座標を元に最小自乗法によって求めたナイキスト円の中心点と、任意に選んだ2つのデータ点の位置関係から減衰比は算出される。仮にここで、図-4のデータ点D(周波数 ω_d)とE(ω_e)を選べば、減衰比 ζ は次の式で与えられる。

$$\zeta = (\omega_e - \omega_d) / f_i \{ \tan(\theta_d/2) + \tan(\theta_e/2) \}$$
 (1)

ここで、 θ_d, θ_e は図-4に示す挟角である。また、共振峰の頂点での周波数 f_i は、D,Eが共に共振峰の頂点近傍のデータ点であって $\omega_d \doteq f_i \doteq \omega_e$ とみなせるので、 ω_d と ω_e の平均値として構わない。このようにして求めた減衰比 ζ は、データ点D,Eの選び方によって異なる数値となってしまうので、データ点D,Eの組み合わせを変更して数回の計算を行ない、その平均値を採用することとした。

4. 減衰比と腐食率の関係

表-1に、2種類の伝達関数アクセラランスとモビリティの、1000Hz付近に現れた共振峰の減衰比 ζ をまとめた。更にこの結果を基に、腐食後の減衰比 ζ_c の腐食前の減衰比 ζ_o に対する比率 ζ_c/ζ_o と、腐食率との関係を図-5に示す。減衰比 ζ は、腐食前の段階で0.005～0.009の値を示しており、腐食後では腐食前と比べて、腐食率5%では1.4倍、20%では1.7～2.2倍の値を示しており、腐食率が大きい程減衰比 ζ が大きくなっていることが分かる。この減衰比 ζ の増大は、腐食生成物の膨張圧力によって生じたコンクリートの腐食ひび割れが、梁供試体の減衰特性に影響を及ぼしたものと考えられる。また、減衰比 ζ が示すこの傾向は、伝達関数としてアクセラランス、モビリティのどちらを採用しても定量的にほぼ同じ結果となった。一方で、腐食前の各供試体を比較すると、同じ配合のコンクリートを使用し同じ条件で測定しているにも関わらず、供試体間の値の差が大きく、値が最も小さい供試体に対

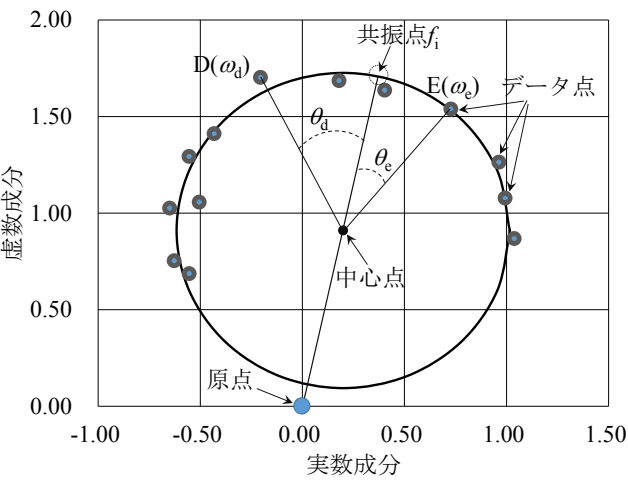


図-4 ナイキスト円

表-1 減衰比 ζ

供試体名	腐食率(%)		減衰比 ζ	
			アクセラランス	モビリティ
LB	5	腐食前	0.0052	0.0052
		腐食後	0.0076	0.0076
LC	20	腐食前	0.0086	0.0084
		腐食後	0.0150	0.0143
SB	5	腐食前	0.0053	0.0053
		腐食後	0.0072	0.0077
SC	20	腐食前	0.0049	0.0053
		腐食後	0.0109	0.0110

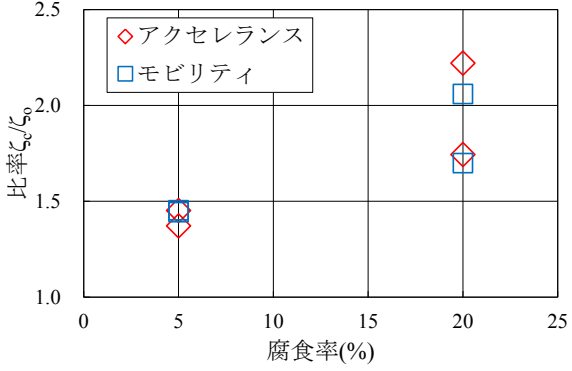


図-5 腐食後の減衰比 ζ_c の腐食前の減衰比 ζ_o に対する比率と腐食率との関係

して最大で1.7倍程度の開きがあった。

5. まとめ

打撃応答試験において加速度計によって得られた伝達関数にモード円適合を適用して求めた減衰比 ζ は、鋼材が腐食することによって増大し、その増大する割合は、腐食率が大きい程大きくなることが明らかとなった。

参考文献

1) 長松昭男著『モード解析入門』, コロナ社, 1993