# 論文 打撃応答のスペクトル特性に着目したRC梁の鉄筋腐食推定法に 関する基礎的研究

黒田 一郎\*1·古屋 信明\*2·遠山 和一郎\*3

要旨:本研究は,鉄筋コンクリート部材の鉄筋腐食の有無を簡便な手法によって判断する手法の開発に資す る知見を得ることを目的として,コンクリート表面の打撃時の加速度応答と打音音圧のスペクトル分析を行 ない,鉄筋腐食の有無との関係を調べたものである。電食によって鉄筋を腐食させた梁供試体を対象とした 実験により,腐食率5%程度の腐食段階であっても,加速度と音圧のスペクトル上の高い周波数領域が抑制さ れることが明らかとなった。

キーワード:鉄筋腐食,非破壊検査,打撃応答,加速度,音圧

#### 1. 序論

老朽化し,鉄筋が腐食してしまった鉄筋コンクリート (以下, RC)構造物の維持管理においては,補修・補強 方法の選定や,その優先順位決定のために,非破壊検査 による腐食程度の把握が必要であるが,検査を必要とす る構造物の数が急激に増えている昨今の現状を踏まえれ ば,最初からすべてを対象として精密な検査を実施する のは適切でない。そこで,検査の第一段階として,でき るだけ簡便で迅速な非破壊検査手法によって,第二段階 の精密検査にまわすべき構造物を絞り込むといった考え 方を維持管理に取り入れる必要があり,今後は,腐食に よる鉄筋の断面積減少量が小さくて構造物の耐荷性能へ の影響がまだ顕著でない段階での診断に適した簡便な検 査手法の需要が一層高まってくると予想される。

そこで、本研究では、簡易的な非破壊検査手法の一つ として、コンクリート表面の打撃に対する応答を分析す ることによって鉄筋腐食の影響を検出する方法に着目し た。

コンクリート工学の分野では、打撃応答による非破壊 検査は、コンクリート内部の欠損の把握などの目的で研 究が進められてきた。既往の多くの研究の中から、コン クリートの劣化・損傷に焦点を当てた研究例を挙げるな らば、岡村ら<sup>1)</sup>は、載荷によるひび割れを導入したRC版 に、鋼球の衝突による打撃を作用させ、その際の応答特 性について検討しており、ひび割れの存在が振動スペク トル上の卓越する周波数に影響を与えることを明らかに している。また、吉田、田中、関らの一連の研究<sup>2),3)</sup>では、 RC柱の剛性評価手法として、打撃振動や起振器による強 制振動を与えた際の柱の振動特性を利用する手法を提案 しており、そこでは、ひび割れなどによる曲げ剛性低下 によって、固有周波数が小さくなる傾向を評価指標とし て採用している。

一方で、固有周波数だけでなく、振動スペクトルの強 度分布の変化から、RC部材の健全性の評価を試みようと する研究もあり、コンクリート管を対象とした鬼塚、鎌 田らの研究<sup>4)</sup>がその代表的な例として挙げられる。この 研究では、載荷によってひび割れを導入したコンクリー ト管を対象として、インパルスハンマによって打撃した 際の応答加速度のスペクトル分布を分析し、ある特定の 周波数より低周波側のスペクトル強度と高周波側のスペ クトル強度の比率を、周波数面積比という独自の指標で 表わし、それと載荷によるひび割れの進捗との関係を実 験から明らかにしている。

これらの研究を踏まえ、本研究では、打撃応答の分析 を鉄筋腐食の評価に拡張・適用することを目指すもので ある。具体的には、電食によって鉄筋を腐食させたRC梁 供試体を対象として、鋼球の落下による打撃実験を行な い、打撃応答として収録したコンクリート表面の振動加 速度と打音の音圧のスペクトルの分析から、鉄筋腐食を 評価することを試みている。

#### 2. 実験概要

#### 2.1 供試体

実験に使用したRC梁供試体の諸元を図-1に示す。供 試体は長さ1460mm,幅80mm,高さ140mmのRC梁であり, 鉄筋は、1本の異形棒鋼D13SD345をかぶり20mmで引張 側に配し、スターラップはD6SD295Aを100mm間隔で配 置している。供試体の打撃応答特性が個体によって変化 する可能性があるため、同一諸元の供試体を3体作成し、 それらの名称をM-1、M-2、M-3とした。

コンクリートの配合を表-1に示す。セメントは早強 ポルトランドセメントを使用し,養生は2週間の水中養生

\*1 防衛大学校 システム工学群建設環境工学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*2 防衛大学校 システム工学群建設環境工学科名誉教授 博士(工学)

\*3 防衛省 航空自衛隊 工修



図-1 供試体諸元

表-1 示方配合

粗骨材の	水セメ	細骨	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								
最大寸法	ント比	材率	水	セメ	細骨	粗骨	AE剤				
Gmax	Gmax W/C			ント	材	材					
(mm)	(%)	(%)	W	С	S	G	(cc)				
20	60	40.5	175	292	680	1060	93.4				

とした。

鉄筋の腐食は、電食によって行なった。引張鉄筋を直 流電源の正極に接続し、直流電流0.58A(単位表面積あた り0.865mA/cm<sup>2</sup>)を所定時間通電した。目標とする腐食 率、即ち、腐食によって失った鉄筋重量の腐食前の鉄筋 重量に対する比率は5%に設定し、通電時間は、既往の研 究<sup>5)</sup>から182hrと決定した。別途行なった同一諸元の供試 体を用いた載荷実験<sup>6)</sup>の結果、5%の鉄筋の腐食率は、梁 の曲げ耐力を7%程度減ずることが想定される。なお、本 実験では、引張鉄筋の腐食の影響のみを抽出するため、 スターラップには絶縁テープを巻くことにより防錆処置 を施している。

電食の結果,供試体の底面には,図-2(a)のひび割れ 分布図に示すように,引張鉄筋に沿ったひび割れが梁の 全長にわたって生じた。クラックスケールを用いて,引 張鉄筋に沿って100mm間隔で測定したひび割れ幅を図 -2(b)に示す。3体の供試体は断面諸元も電食の条件も同 ーであったが,コンクリート表面で観察されたひび割れ 幅には供試体ごとの差異が生じている。

#### 2.2 打撃実験

現場での検査の実用化を念頭に置くならば,打撃は手 動のハンマによるものが簡便性の上で好ましいが,本実 験においては,再現性を確保するために,鋼球の落下衝 突によって行なった。

打撃実験の際には,供試体は,スパン1260mmの単純 支持で鋼製支承の上に静置し,鋼を衝突させる位置は, 梁の上面の中央とした。

使用した鋼球の諸元を表-2に示す。Hertzの接触理論 を基に導出された理論<sup>7)</sup>により,落下する球が平面に衝

0	200	400	600	800	1000	1200	1400
	+-+-	+	+-	+-+-	+	+	+
M-3	供試体						
~	++	+-+~	+-+-	+	++	+	+-1
M−2	供試体						
	+ -	+	+	+	+	+	$+ \rightarrow$
IVFI	供訊件	(クソツ	<b>ト (よう) 1</b>	皮 広 肋 こ	ハクニノ	リンセネ	在 4ノタ )

いいコーモークローニー

1 12 11

梁端部からの距離(mm)





図-2(b) 底面の腐食ひび割れ幅

表-2 鋼球の諸元

名称	鉄球径	質量	落下高さ	接触時間
	D	т	h	T <sub>C</sub>
	(mm)	(g)	(mm)	(s)
鋼球小	20	112	100	0.000324
	50	115	500	0.000276
鋼球大	50	521	100	0.000540

突する際の接触時間 $T_c$ は、球の直径に比例し、落下高さ の0.1乗に反比例することが知られている。また、衝突に よって生じる振動の上限周波数は、接触時間 $T_c$ を周期と する周波数の近傍の値となることが知られている<sup>8)</sup>。そ こで、鋼球の直径は50mm(鋼球大)と30mm(鋼球小) の2種類とし、落下高さは鋼球大に対しては100mm、鋼 球小に対しては100mm、500mmの2通りの検討を行なっ た。これらの鋼球を用いて、おのおのの供試体に対して、 同一条件(鋼球の大小と落下高さ)に対し各6回の打撃実 験を行なった。

打撃応答の収録は、加速度計と、マイクロフォンを用 いて行なった。加速度計(対応周波数範囲0.4Hz~10kHz, 測定レンジ10000G)は梁の下面の中央(スパン中央でか つ幅方向の中央)に接着して取り付けた。図-2(a)に示し たように、供試体底面にはスパン全長にわたって引張鉄 筋に沿ったひび割れが生じたが、ひび割れは梁の幅方向 に蛇行していたので、直径わずか4mmの加速度計を所定 の位置に接着する上でひび割れが邪魔になることはなか った。マイクロフォン(対応周波数範囲3.15Hz~20kHz, 感度50mV/Pa)は、梁の中央の側方に300mm離隔して設 置した。加速度計とマイクロフォンによって電圧に変換



図-3(a) 時刻歴応答の例(加速度) M-1 供試体,腐食前,鋼球小,落下高さ500mm



図-4(a) パワースペクトルの例(加速度) M-1 供試体, 腐食前, 鋼球小, 落下高さ 500mm

された加速度と音圧を,高速データロガーによってサン プリングレート50kS/s(1秒間あたり50000サンプル)で 時刻歴波形として収録した。収録した波形の例を図-3(a), (b)に示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 打撃応答の分析方法

収録した加速度と音圧は、高速フーリエ変換(FFT) によってパワースペクトルに変換した。時刻歴波形のグ ラフ(図-3(a), (b)に例示)を見れば、時刻歴波形がほ ぼ定常状態に至るまでに要する時間が、加速度で約0.02s, 音圧で約0.04sを要していることがわかる。そこで、変換 に用いたサンプル長さは、それらの長さ(0.02sおよび 0.04s)とさらに余裕を持たせた0.08sの3通りとした。ま た、窓関数はHann窓を採用した。

変換して得られたパワースペクトルの例を図-4(a), (b)に示す。パワースペクトルには、1100Hz程度の位置に ピークが認められ、また、その約2倍の周波数で2つ目の ピークが認められる。

コンクリートの静弾性係数を3×10<sup>4</sup>N/mm<sup>2</sup>, ポアソン 比を0.2, 単位体積質量を2.2g/cm<sup>3</sup>とし,梁の両端を自由 端と仮定した場合のせん断振動の固有周波数理論値はお



図-3(b) 時刻歴応答の例(音圧) M-1 供試体,腐食前,鋼球小,落下高さ 500mm



図-4(b) パワースペクトルの例(加速度) M-1 供試体,腐食後,鋼球小,落下高さ 500mm

よそ1000Hzであり、パワースペクトル上のこのピークは、 梁のせん断振動を捉えたものではないかと考えられる。 実験時に梁は単純支持していたが、両端の支承は円柱状 の鋼材で構成されており、供試体はその上に静かに置い ただけであって、静的な曲げ載荷の際にはヒンジとして 機能する支承であっても、打撃に対する応答の際には自 由端に近い挙動を示したのではないかと考えられる。そ こで、それを検証するために、同じ供試体を発砲スチロ ール板を敷き詰めた床上に置いて同様の打撃を与えたと ころ、パワースペクトル上のピークは単純支持の場合と 全く同じ周波数(1100Hz)にて観察され、ピークの値に対 する支承の影響はなく、自由端に近い振動であったと判 断できる。

また、図-4(a), (b)では、200Hzより低い周波数におい て、大きなパワーが現れている。これは、FFT処理に使 用した加速度時刻歴波形(音圧時刻歴波形)の無振動時 (無音時)に相当するレベルが0からずれてしまう、いわ ゆるDCオフセットの影響や、FFT処理のために切り出し た時刻歴波形の右上がりまたは右下がりの傾斜成分がト レンド傾向(傾向変動)としてスペクトルの低周波域に 影響したものと考えられる。これらのDCオフセットやト レンド傾向の効果はバンドパスフィルタや統計学的手法

サンプ	鋼球	落下	供試体	第1卓越周波数f <sub>1</sub> (Hz)			第2卓	第2卓越周波数f <sub>2</sub> (Hz)			パワー比R <sub>p</sub>				
ル長 $T_s$	径D	高さ	番号	腐食前	腐食後	比率	腐食前	腐食後	比率	腐食	;前	腐食	後	比率	
(s)	(mm)	h(mm)								括弧内は標準偏差		括弧内は標準偏差			
0.02	30	100	M-1	1085	1111	1.024	2395	2327	0.972	0.995	(0.243)	0.301	(0.021)	0.303	
			M-2	1076	1110	1.032	2355	2428	1.031	1.531	(0.311)	0.125	(0.023)	0.082	
			M-3	1134	1154	1.018	2422	2405	0.993	1.179	(0.327)	1.743	(0.185)	1.478	
		500	M-1	1074	1101	1.025	2377	2258	0.950	0.864	(0.151)	0.241	(0.020)	0.278	
			M-2	1066	1100	1.032	2331	2400	1.030	1.036	(0.076)	0.422	(0.057)	0.407	
			M-3	1126	1145	1.017	2401	2383	0.993	1.100	(0.067)	0.711	(0.160)	0.646	
	50	100	M-1	1063	1093	1.028	2376	2244	0.944	0.620	(0.158)	0.162	(0.033)	0.262	
			M-2	1055	1090	1.033	2327	2383	1.024	0.521	(0.098)	0.145	(0.026)	0.277	
			M-3	1120	1136	1.014	2390	2374	0.993	0.428	(0.121)	0.452	(0.119)	1.057	
0.04	30	100	M-1	1089	1115	1.024	2413	2324	0.963	0.289	(0.098)	0.195	(0.051)	0.676	
			M-2	1069	1110	1.038	2379	2171	0.913	1.123	(0.257)	0.120	(0.029)	0.107	
			M-3	1136	1155	1.017	2437	2411	0.989	0.773	(0.202)	0.726	(0.083)	0.939	
		500	M-1	1076	1106	1.028	2376	2254	0.949	0.247	(0.050)	0.065	(0.015)	0.264	
			M-2	1066	1105	1.037	2338	2407	1.030	0.462	(0.134)	0.179	(0.042)	0.387	
			M-3	1130	1150	1.018	2408	2398	0.996	0.514	(0.080)	0.191	(0.063)	0.371	
	50	100	M-1	1069	1100	1.029	2392	2265	0.947	0.341	(0.115)	0.069	(0.015)	0.203	
			M-2	1059	1095	1.034	2340	2392	1.022	0.274	(0.108)	0.072	(0.021)	0.262	
			M-3	1125	1145	1.018	2402	2378	0.990	0.211	(0.048)	0.235	(0.059)	1.113	
0.08	30	100	M-1	1086	1115	1.027	2245	2281	1.016	0.659	(0.269)	0.129	(0.057)	0.196	
			M-2	1076	1111	1.033	2377	1954	0.822	1.675	(0.372)	0.724	(0.273)	0.432	
			M-3	1146	1155	1.008	2436	2414	0.991	2.419	(0.960)	0.491	(0.096)	0.203	
		500	M-1	1076	1109	1.031	2231	2270	1.017	0.450	(0.127)	0.072	(0.025)	0.159	
			M-2	1065	1107	1.039	2299	1997	0.869	1.483	(0.285)	0.262	(0.061)	0.177	
			M-3	1145	1150	1.004	2431	2423	0.997	0.575	(0.207)	0.054	(0.011)	0.094	
	50	100	M-1	1064	1103	1.037	2404	2307	0.960	0.401	(0.246)	0.072	(0.025)	0.180	
			M-2	1065	1099	1.032	2339	2002	0.856	1.248	(0.290)	0.162	(0.033)	0.130	
			M-3	1130	1147	1.015	2415	2378	0.985	0.260	(0.073)	0.067	(0.021)	0.257	

表-3 第1卓越周波数f<sub>1</sub>, 第2卓越周波数f<sub>2</sub>, パワー比R<sub>p</sub>(加速度)

で除去可能であるが,注目している1000Hz台の高い周波 数帯域に対して除去操作が及ぼす悪影響を考慮し,除去 せずにそのままにしている。

以降, 図-4(a), (b)の1100Hz近傍の1つ目のピークの周 波数を第1卓越周波数 $f_1$ , そして, 2つ目のピークを第2卓 越周波数 $f_2$ と呼ぶこととする。ただし, 腐食後の供試体 では, 第2卓越周波数 $f_2$ を示すピークが複数現れることも あったが(図-4(b)の例では約2200Hzと2500Hz), その場 合は最もパワーが大きなピークを第2卓越周波数 $f_2$ とし た。さらに, 第1および第2卓越周波数でのパワーの値を それぞれ $p_1$ ,  $p_2$ と定義するならば, 腐食後では,  $p_2$ 値が  $p_1$ 値に比べて小さくなっていることが判る(図-4(a), (b) 参照)。そこで,  $p_1$ 値に対する $p_2$ 値の割合を $R_p$ 値として次 の式で定義した。

$$R_{\rm p} = p_2 / p_1 \tag{1}$$

このR<sub>p</sub>値が小さいほど,周波数の高い振動成分が抑制されていることを表わす。

## 3.2 分析結果

以上で説明した第1卓越周波数f<sub>1</sub>,第2卓越周波数f<sub>2</sub>,お よび**R**<sub>p</sub>値を各計測ケースごとに整理して**表**-3および**表** -4にまとめる。これらの表に示された各値は、同一条 件で6回繰り返された打撃での値を平均したものである。 また,表中の「比率」は,腐食後の各値を腐食前の値で 割ったものであり,もしも「比率」が1.0ならば腐食前後 で変化が全くなかったことを表わす。

加速度(表-3),音圧(表-4)のいずれにおいても, 第1卓越周波数f<sub>1</sub>は腐食の前後でほとんど変化がない。ま た,第2卓越周波数f<sub>2</sub>においては,腐食の前後でほぼ同じ か,いくつかのケースにおいてやや低減している傾向を 示しているが変化量は小さい。即ち,腐食率を5%とした 今回の実験では,第1卓越周波数f<sub>1</sub>や第2卓越周波数f<sub>2</sub>の値 は腐食に対して鈍感であり,これらの値の変化をもって 腐食の有無を判定することは困難である。

一方, 表-3および表-4に示された $R_p$ 値を見れば, い くつかの例外があるものの, 腐食することによって $R_p$ 値 は大きく減じており, 鉄筋の腐食の影響は第1および第2 卓越周波数 $f_1$ ,  $f_2$ よりも, 振動の高い周波数成分の抑制を 示している $R_p$ 値の方により顕著に現われている。これは, 鉄筋の腐食で生じた腐食生成物やひび割れによって, 振 動する梁の運動エネルギーの散逸が増し, 減衰特性が変 化したものと考えられるが, 詳細については, モード減 衰比などの減衰パラメータの検討が今後必要である。

ただし、いくつかのケースで、腐食前の $R_p$ よりも腐食 後の $R_p$ 値の方が著しく大きくなっているものがある。例 を挙げるならば、加速度を用いた分析(表-3)では、 サンプル長さ $T_s$ が0.02sで、径30mmの鋼球を使用して落

サンプ	鋼球	落下	供試体	第1卓	越周波数	$f_1(\text{Hz})$	第2卓	越周波数	$f_2(Hz)$	パワー比R <sub>p</sub>				
ル長 $T_s$	径D	高さ	番号	腐食前	腐食後	比率	腐食前	腐食後	比率	腐食	前	腐食	後	比率
(s)	(mm)	h(mm)								括弧内は標準偏差		括弧内は	標準偏差	
0.02	30	100	M-1	1095	1115	1.018	2303	2291	0.995	0.407	(0.136)	0.436	(0.090)	1.072
			M-2	1081	1110	1.027	2221	2287	1.030	0.089	(0.013)	0.244	(0.063)	2.743
			M-3	1141	1142	1.001	2424	2318	0.956	0.133	(0.057)	0.550	(0.316)	4.127
		500	M-1	1077	1104	1.025	2266	2253	0.994	0.336	(0.088)	0.271	(0.034)	0.807
			M-2	1067	1096	1.027	2220	2411	1.086	0.305	(0.059)	0.134	(0.035)	0.440
			M-3	1132	1148	1.014	2406	2377	0.988	0.094	(0.023)	0.267	(0.120)	2.844
	50	100	M-1	1064	1095	1.029	2215	2258	1.019	0.326	(0.138)	0.113	(0.048)	0.347
			M-2	1060	1090	1.028	2218	2356	1.062	0.459	(0.179)	0.031	(0.010)	0.068
			M-3	1127	1138	1.010	2398	2362	0.985	0.131	(0.046)	0.101	(0.027)	0.767
0.04	30	100	M-1	1093	1115	1.020	2315	2278	0.984	0.459	(0.194)	0.198	(0.030)	0.430
			M-2	1081	1111	1.028	2211	2299	1.040	0.102	(0.029)	0.068	(0.017)	0.668
			M-3	1140	1156	1.014	2424	2281	0.941	0.073	(0.032)	0.970	(0.570)	13.363
		500	M-1	1085	1105	1.018	2290	2268	0.990	0.843	(0.264)	0.219	(0.023)	0.260
			M-2	1075	1105	1.028	2221	2416	1.088	0.412	(0.128)	0.121	(0.042)	0.293
			M-3	1133	1147	1.012	2404	2387	0.993	0.074	(0.011)	0.059	(0.012)	0.796
	50	100	M-1	1073	1095	1.021	2210	2242	1.014	0.211	(0.120)	0.135	(0.049)	0.642
			M-2	1062	1096	1.032	2223	2346	1.055	0.281	(0.069)	0.018	(0.005)	0.063
			M-3	1127	1145	1.016	2403	2375	0.988	0.118	(0.046)	0.045	(0.010)	0.381
0.08	30	100	M-1	1093	1115	1.020	2323	2280	0.981	0.300	(0.129)	0.122	(0.020)	0.407
			M-2	1087	1115	1.026	2225	2322	1.044	0.358	(0.131)	0.045	(0.012)	0.125
			M-3	1140	1150	1.009	2430	2286	0.941	0.039	(0.014)	0.505	(0.147)	13.010
		500	M-1	1090	1112	1.020	2296	2260	0.984	0.655	(0.278)	0.154	(0.013)	0.235
			M-2	1075	1110	1.033	2229	2414	1.083	0.475	(0.046)	0.082	(0.021)	0.173
			M-3	1135	1149	1.012	2403	2287	0.952	0.069	(0.016)	0.016	(0.004)	0.230
	50	100	M-1	1075	1095	1.019	2339	2248	0.961	0.341	(0.062)	0.048	(0.015)	0.142
			M-2	1073	1100	1.025	2230	2287	1.026	0.230	(0.079)	0.013	(0.004)	0.057
			M-3	1135	1145	1.009	2404	2379	0.990	0.096	(0.053)	0.016	(0.005)	0.162

表-4 第1卓越周波数f1, 第2卓越周波数f2, パワー比Rp(音圧)

下高さ100mmから供試体M-3を打撃したケース(表-3 の3行目,腐食前の $R_p$ =1.179,腐食後の $R_p$ =1.743)の他, 全3ケースがそうであり,音圧を用いた分析(表-4)で はその数はさらに多くなる。

そこで、どのような打撃条件、分析条件においてR<sub>p</sub>値 が腐食後に大きくなっているのかに注目すれば、鋼球径 が小さくて落下高さが小さい打撃条件、もしくはフーリ エ変換におけるサンプル長さが短いケースに限定される ことが明らかである。つまり、小さくて軽い鋼球を低い 位置から落下させて充分な起振力を発揮できなかったケ ースや、フーリエ変換の際のサンプルの数が少なかった ケースである。この傾向を踏まえ、打撃条件を、鋼球大 (径50mm)を使用か,または,鋼球小(径30mm)を使 用して落下高さを500mmとしたケースに限定して、腐食 前と腐食後のR<sub>n</sub>値の比率(腐食後÷腐食前)を図-5(a) ~(d)にまとめた。図-5(a)~(d)から、サンプル長さが小 さい場合には、R<sub>p</sub>値の比率が1.0に近かったり、1.0を遥か に超える(腐食後の方がR<sub>p</sub>値が大きくなっている)ケー スもあり, また, 供試体個体間の差も大きいが, サンプ ル長さを最も大きく0.08sに設定した場合にはR<sub>p</sub>値の比 率は0.2前後(腐食後のRp値が腐食前の0.2倍前後)となっ ており、3体すべての供試体において腐食したことによっ て高い周波数の振動が抑制されていることが検知できる。 すなわち、打撃条件と分析条件を適切に設定すれば、本 実験で独自に定義したパラメータである*R*p値を用いて、 腐食率5%程度の段階において腐食を検出し得る可能性 が示された。

ただし、本実験では確認していないが、この*R*p値の変 化は、腐食だけで起こりうるものではなく、コンクリー トの他の劣化要因、例えば疲労などでも生じる恐れがあ るので、実用化に向けては目視観察などの他の情報と効 果的に組み合わせる必要があろう。更に今後の課題とし て付け加えるなら、本実験よりも腐食率が小さくて、コ ンクリート表面のひび割れが微細で目視が困難なレベル (たとえば0.05mm以下)での検討の必要性も指摘できる。

# 4. 結論

本研究は,鉄筋が腐食したRC梁供試体を対象とした打 撃応答実験を通して,曲げ耐力への影響が顕著でない段 階である,5%程度の鉄筋の腐食率に対応可能な非破壊検 査手法の提案を目指すものである。本研究で得られた知 見を以下にまとめる。

(1) 鋼球の落下衝突による打撃実験の結果,本実験条件 での鉄筋の腐食率5%においては,加速度と音圧の固有周 波数は,腐食前とくらべてほとんど変化が認められなか った。









(2) 加速度と音圧のスペクトル特性を、本研究で独自に 定義した*R*p値というパラメータを用いて評価した結果, 鉄筋が5%程度腐食しただけで,高い周波数領域の振動が 抑制される現象が確認された。

(3) 鉄筋の腐食とR<sub>p</sub>値の関係を把握するためには,打撃 による充分大きな起振力とが必要であり,分析に用いる 加速度,音圧の時刻歴波形も充分なサンプル長が必要で ある。

### 参考文献

- 岡村雄樹,檜貝勇:弾性波の伝播特性によるRC床版のひび割れ評価に関する基礎研究,山梨大学工学部研 究報告, Vol.41, No.1, pp.96-105, 1990.
- 吉田幸司,関雅樹:固有振動特性に着目した鉄道高架 橋の健全度評価に関する研究,コンクリート工学年次 論文集, Vol.26, No.1, pp.1935-1940, 2004
- 3)田中宏昌,関雅樹,下村勝,中野聡:ラーメン高架橋の健全度に関わる柱の剛性評価法の研究,構造工学論









文集, Vol.47A, pp.1019-1027, 2001

- 4) 鬼塚哲雄,鎌田敏郎,浅野雅則,下村雄介:弾性波挙動に基づくコンクリート管のひび割れ評価,コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1675-1680, 2005.
- 5) 田森清美,丸山久一,小田川昌史,橋本親典:鉄筋の 発錆によるコンクリートのひび割れ性状に関する基 礎研究,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.10, No.2, pp.505-510, 1988
- 村上将也、山本佳士、黒田一郎、古屋信明:鉄筋腐食 させたRC梁の残存曲げ耐荷力特性に関する実験的 研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.30, No.1, pp.1095-1100, 2008
- 7) 岩野聡史,森濱和正,極檀邦夫,境友昭:鋼球接触時間の測定によるコンクリート表層部の品質評価,コン クリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1687-1692, 2005
- 8) 長松昭男:モード解析入門,コロナ社, 1993.