

超音波スペクトルによるRC部材のひびわれ深さ判定

熊本大学大学院 学生会員 ○中川照久

熊本工業大学 正会員 上杉真平

熊本大学工学部 正会員 大津政康

1. はじめに

欠陥評価方法の一つであるスペクトロスコピー法¹⁾は、材料中を伝播する弾性波が、材料内部の諸状況（ひびわれ、空隙、劣化状況など）によって攪乱が生じた様子を、材料中を伝播する弾性波の周波数スペクトルの特徴から明らかにしようとする方法である。本研究では超音波スペクトロスコピー法¹⁾の概念を利用して、コンクリート構造物にとって重要である表面ひびわれの深さの検査法について検討した。

2. 実験概要

応答スペクトルの計測システムは、ファンクションジェネレータより一定電圧で周波数が1～20kHzに変化するSINE波形の電気信号（振幅一定：スイープモード）を発信センサを介してコンクリート供試体の一端より送信し、これを他端の受信センサにより受け、プリアンプで増幅し、ディスクリミネータを介してX-Yレコーダとオシロスコープへ記録、出力する。また、ピーク位置の安定化およびフーリエスペクトルとの等価性¹⁾のために本実験ではスイープ時間を約12秒とした。本実験に使用したコンクリート供試体は、AEコンクリート（AE）、鋼繊維補強コンクリート（SFR）、鉄筋コンクリート（RC）の3種類である。また、全てにAE剤を混和し、鋼繊維補強コンクリートには長さ30mmのせん断ファイバを体積混入率1%で使用した。それぞれの配合条件、および諸性質を表-1に示す。なお、粗骨材の最大寸法は20mm、表中の空気量は打設時における実測値であり、鉄筋は10mmの異形棒鋼で、かぶりを3cmとした。供試体は、10cm×10cm×40cmの角柱供試体で、AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリートには、それぞれ中央に2cm、3cm、4cm、5cmの人工ノッチを、鉄筋コンクリートには2cmの人工ノッチを設けた。

表-1 コンクリートの配合表

	W	W/C	C	S	G	AE	fiber	slump	air	compressive strength	tensile strength	Young's modulus
	kg/cm ³	%	kg/cm ³	kg/cm ³	kg/cm ³	cc	kg	cm	%	kg/cm ²	kg/cm ²	*10 ⁵ kg/cm ²
AE	169	45	375	695	1156	188	-	6.7	4.1	451.4	36.0	2.50
SFR	169	45	375	684	1138	188	78	1.5	2.7	529.6	51.4	2.66
RC	161	54	298	798	1052	200	-	6.3	8.0	296.0	33.2	2.06

3. 実験結果および考察

人工ノッチを設けた各供試体からX-Yレコーダに記録した応答スペクトルの例としてAEコンクリート2cmノッチを図-1(a)、鉄筋コンクリート2cmノッチを(b)に示す。全てのスペクトルを分析してみると、以下のことがわかった。最初に出るピーク（これを1次ピーク：F1と呼び、以下順に2次、3次ピークと呼んでいく）の発生周波数が、ノッチ深さに関係なくほぼ8kHz前後に一定していた。全てのスペクトルの1次ピークから6次ピークまで、ほぼ同一のパターンでピークが発生していた。このことは、AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリート、鉄筋コンクリートのようにコンクリート材料の差異にも関係なく同じ傾向を示し、ノッチ深さが深くなるにつれて1次ピークから6次ピークまで全ての発生周波数が少しずつではあるが低くなっていた。さらに、2次ピークから6次ピークまでそれぞれのピークで発生周波数の移動量を見てみると5次ピークが最も大きく、ノッチ深さを変化させることにより発生周波数が変化するピーク、つまりノッチの影響を最も大きく受けているピークが5次ピークではないかと考えられた。そこで、ノッチ深さを2cm～5cmと変化させてみて不動の1次ピークと明瞭な動きをみせる5次ピークの発生周

波数比よりひびわれに関する情報を取り出す方法を検討した。まず、人工ノッチを設けた供試体の応答スペクトルから、5次ピークと1次ピークの発生周波数比 $F5/F1$ を計算し、その $F5/F1$ を縦軸、ノッチ深さ(a)と供試体高さ(w)の比 a/w を横軸として、AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリート、鉄筋コンクリートの各点をプロットし、それらから2次式で近似させ、図-2に示すような参照曲線を作成した。この曲線は、配合の影響および鉄筋の存在による影響などをほとんど受けず、供試体の形状が同一であれば一つの曲線が得られることがわかった。そこで、各供試体に载荷を行い自然クラックを入れ、前述の方法で応答スペクトルを求めた。その载荷した後の自然クラック入り供試体の応答スペクトルから、5次ピークと1次ピークの発生周波数比 $F5/F1$ を求め、その後、各供試体のひびわれ深さを染色により測定した。この自然クラック入り供試体の $F5/F1$ の値と、実際のひびわれ深さを対応させた結果を、図-2にプロットしてある。図-2では、プロットされた点がより参照曲線に近いほど推定ひびわれ深さが実測ひびわれ深さに近いことを表わしている。またプロットされた点が曲線の右側であれば、ひびわれ深さを実際よりも浅く推定したことを、あるいは左側であれば、ひびわれ深さを実際よりも深く推定したことを表わしている。図を見てみると、ひびわれ深さが深くなるにつれて、推定ひびわれ深さと実測ひびわれ深さの差が大きくなる傾向にあり、全体的に推定ひびわれ深さは、実測ひびわれ深さよりも浅く推定している。それでも、推定ひびわれ深さの誤差は2 cm以内にはほぼ収まっている。さらに、誤差1 cm以内に収まっているものは、全体の70%に達している。また、AEコンクリートよりも鋼繊維補強コンクリートの方により大きな誤差が出る傾向にあるが、双方の誤差は最大でも1 cm以内であり、無視できる範囲内である。一方、鉄筋コンクリートについても、誤差は2 cm以内に全て収まっており、無筋コンクリートと同程度の精度が得られたことは注目できる。つまり、超音波探傷法では鉄筋コンクリートのひびわれ深さの推定は不可能とされているが、今回の方法によれば十分に推定可能であると思われる。結果を $a/w = 0.5$ 以下の範囲において検討すれば精度はさらに高く、誤差1 cm以内のものは75%に達する。また、AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリート、鉄筋コンクリートなどのコンクリート材料による差も殆ど見られない。

これより、AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリート、鉄筋コンクリートなどのコンクリート材料に関係なく、応答スペクトルの5次ピークと1次ピークの発生周波数比を用いてひびわれ深さを推定するのは十分に可能であると思われる。

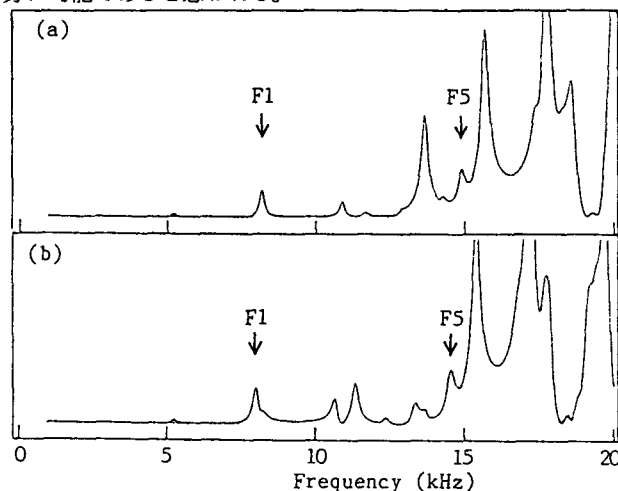


図-1 応答スペクトル

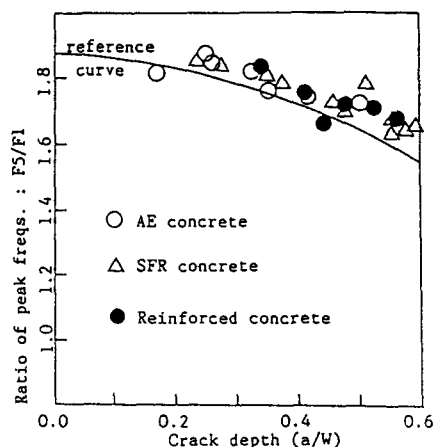


図-2 周波数比とひびわれ深さ

<参考文献> 1) 坂田康徳, 大津政康: 超音波スペクトロスコピーに基づくコンクリートのひびわれ評価に関する基礎研究, 土木学会論文集, 第414号/V-12, 1990, 69-78