

超音波スペクトロスコピー法によるRC部材のひびわれ検査法に関する考察

中川照久*・上杉真平**・大津政康***

鉄筋コンクリート部材におけるひびわれ深さ評価のための超音波検査法について研究した。ここでは、従来の超音波の到達時間差ではなく、ひびわれ進展による周波数スペクトルの変化に着目した。人工的にひびわれを設けた供試体の応答スペクトルにおいてひびわれ深さに鈍感な第1次ピーク周波数と敏感な第5次ピーク周波数が認められ、その理論的背景をBEM解析により明らかにした。そして、その周波数比より求められたリファレンスカーブが鉄筋コンクリート部材でのひびわれ深さ判定にも有効であることを示した。

Keywords : ultrasonic testing, spectroscopy, crack depth

1. はじめに

高度成長時代をピークとする社会資本の整備に伴い、現在までに多くのコンクリート構造物が建設されてきた。しかし、近年になって欠陥を指摘されるコンクリート構造物が増加している。これらのコンクリート構造物の安全性を確保し、使用寿命を延ばすためには、内部に存在する各種欠陥を早期に発見し適当な処置を施すことが重要となっている。

内部欠陥を評価するための方法としては、超音波法^{1),2)}、AE法³⁾、赤外線法³⁾、X線法³⁾、放射線法³⁾などが実施・検討されているが、大部分は発展途上にあり、汎用性の点からは改良点が残されていると考えられる。

本研究では欠陥評価方法の一つである超音波スペクトロスコピー法⁴⁾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ひびわれの深さの検査法について検討する。スペクトロスコピー法とは、材料(コンクリート)中を伝播する弾性波が、材料内部の諸状況(ひびわれ、空隙、異物混入、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。

筆者等は、超音波スペクトロスコピー法をコンクリート中の欠陥検出に適用する方法について研究してきたが^{4),5)}、ここでは、表面に開口部のあるひびわれを有する無筋および鉄筋コンクリート部材での応答スペクトルとひびわれ深さの関係について考察する。そして、その理論的な検討として境界要素法(BEM)により供試体の2次元および3次元共振解析を行った結果について述べる。

2. 実験概要

材料中を伝播する弾性波は、その材料中の諸状況(ひびわれ、空隙、異物混入、劣化状況など)によって、反射、回折、散乱、屈折、減衰等の諸状況を引き起こし、通過前と後ではその波動形態(波形、振幅、周期、位相等)に変化をもたらす。すなわち、材料中を伝播する弾性波は、材料中の諸状況に関する情報を含んだものとして取り出される。これらの情報を周波数領域へと変換し周波数スペクトルから欠陥および材料評価を行おうとする手法をスペクトロスコピーと呼ぶ。

本研究での応答スペクトルの計測システムは、理論的には以下ようになる。波動の伝播するシステムにおいて入力波とシステム通過後の出力波をそれぞれ $f(t)$ 、 $g(t)$ とすれば、システム変換機能によって $f(t)$ は $g(t)$ に変えられる。ただし、ここでは計測器の応答も $f(t)$ に含まれているとみなしておく。このシステムを線形システム論⁴⁾に従って時間領域で表わせば次のようになる。

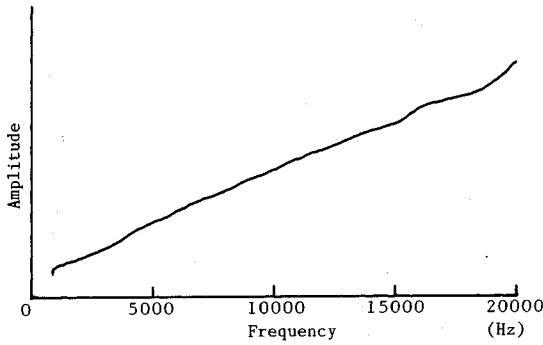
$$g(t) = f(t) * w(t) \dots\dots\dots (1)$$

ここで*印は合成積を表わし、 $w(t)$ はシステムの衝撃応答関数を表わす。 $g(t)$ 、 $f(t)$ 、 $w(t)$ をフーリエ変換して得られる伝達関数を $G(f)$ 、 $F(f)$ 、 $W(f)$ とすれば、上式の周波数領域の式は次のようになる。

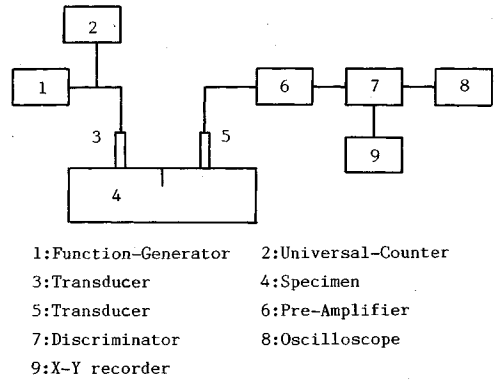
$$G(f) = F(f) \cdot W(f) \dots\dots\dots (2)$$

スペクトロスコピーとは、材料内部の諸状況を $W(f)$ により把握することを目的とするものである。供試体の $W(f)$ を求めるには、時間領域で得られる信号 $w(t)$ のフーリエ変換を行なわなければならない。時間領域における信号のフーリエ変換されたスペクトルは、数学的にはフーリエ級数に相当する個々の周波数成分に分解した場合の対応する周波数成分の振幅値を、周波数軸上で整理し直したものと等価である。したがって、システム全

* 学生会員 熊本大学大学院
(〒860 熊本市黒髪2丁目39番1号)
** 正会員 学博 熊本工業大学
*** 正会員 工博 熊本大学工学部



図一 計測システムの応答特性



図二 応答スペクトルの計測システム

表一 コンクリート供試体の配合と力学特性

	W	W/C	C	S	G	AE	fiber	slump	air	compressive strength	tensile strength	Young's modulus
	kg/m ³	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	cc	kg/m ³	cm	%	Mpa	Mpa	Gpa
AE	169	45	375	695	1156	188	-	6.7	4.1	44.2	3.53	24.5
SFR	169	45	375	684	1138	188	78	1.5	2.7	51.9	5.04	26.1
RC	161	54	298	798	1052	200	-	6.3	8.0	29.0	3.25	20.2

体が線形であるならば、 $W(f)$ は個々の周波数成分に対応する応答として得ることもできる。このようなスイープモードで得られる応答スペクトルとフーリエスペクトルの等価性については既に報告済みである⁴⁾。

以下の各実験で示される応答スペクトルは、実際には全ての計測器の特性をも含んだ $G(f)$ となっているが、ここで使用した計測器を用いる限りにおいて、補正した供試体みの応答スペクトル $W(f)$ は、 $G(f)$ と大差ないことが分かっている⁴⁾。

本実験においては、供試体の材料の差異や、クラックが伸展したことにより、応答スペクトルの特性にどのような変化がおこるか、そして、その変化は解析結果にどのように対応するかを考察することを目的としている。そこで、数 cm の波長に対応させるため、実験に使用する周波数は 1 kHz から 20 kHz までとした。これは、弾性波の攪乱が、波長と同じ程度の介在物の存在によって、最も大きく生じる事実に基づいている。図一に周波数領域 1~20 kHz 間のシステムの応答特性を示す。応答特性とは、発信センサと受信センサを直接接続させた場合の出力の周波数応答であり、システム自体の感度を表わす。本実験では両面テープにてセンサ同士を接続した。これより、1 kHz から 20 kHz まで、徐々に応答が大きくなっているのがわかる。つまり、高周波領域ほど感度がよいということである。また、特別なピークはみられず、これによりシステムによる供試体の共振以外のピークは現われないことが確認できる。

図二に応答スペクトルの計測システムを示す。ファンクションジェネレータより一定電圧で周波数が 1~20

kHz 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のためには、スイープ時間を 5 秒以上とするのが望ましく⁴⁾、本実験ではスイープ時間を約 12 秒とした。なお、本実験では計測周波数域における受信信号の振幅が適当となるように、計測時の増幅率を調整して計測している。ゆえに、本論文に示される応答スペクトルの振幅は相対的なものであるが、ここではピークの発生周波数、出現状況を考察の対象とする。

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。AE コンクリート、鋼繊維補強コンクリートおよび鉄筋コンクリートには AE 剤を混和し、鋼繊維補強コンクリートには長さ 30 mm 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、および諸性質を表一に示す。なお、粗骨材の最大寸法は 20 mm であり、表中の空気量は打設時における実測値である。供試体は、10 cm × 10 cm × 40 cm 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 2 cm、3 cm、4 cm、5 cm の人工ノッチを、鉄筋コンクリートには 2 cm の人工ノッチを設けた。人工ノッチは、供試体の打設時に、それぞれのひびわれ深さで厚さ 1 mm のプラスチック板を型枠の所定の位置に固定し、脱型時にそのプラス

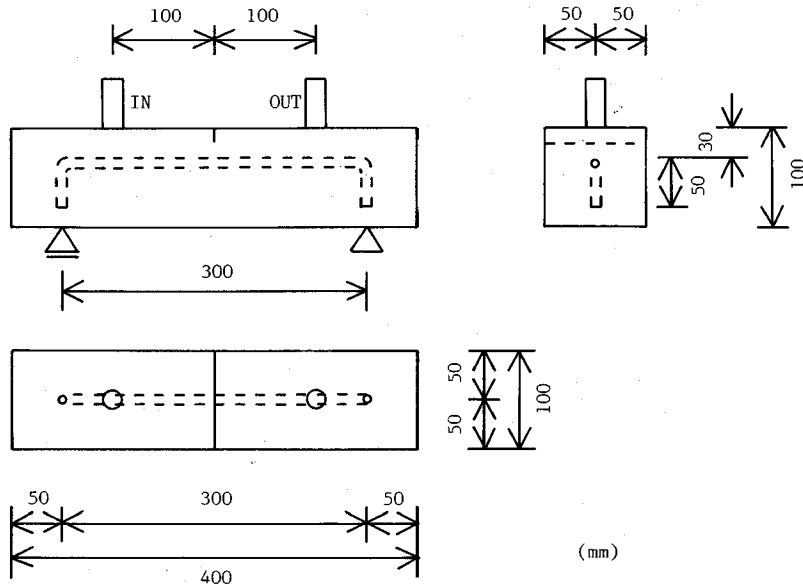


図-3 鉄筋コンクリート供試体の配筋図

チック板を取り外して作成した。鉄筋はD10の異形棒鋼をスペーサを用いて、かぶりを3 cmとした。鉄筋コンクリート供試体の配筋を図-3に示す。各供試体は、打設後24時間で脱型し、その後恒温室で28日間水中養生した。

応答スペクトルの計測実験方法は、まず30 cm間隔で、左側がローラ、右側がピンになっている金属製の供試体支持台を設け、その上に供試体を支持した。発受信センサの取付位置は、図-3に示すようにノッチをはさんで両側10 cm、奥行き方向中央部(5 cmの点)とした。左側が発信センサで、右側が受信センサである。また、コンクリート供試体への発受信センサの取付は、再現性の高い両面テープによる固定法を用いた。この状態で、供試体1本につき応答スペクトルを数回ずつ計測し、記録したスペクトルが一致することを確認して、周りの雑音などの影響を受けていないことを確かめながら計測を行った。

これらの供試体から応答スペクトルを記録した後、全ての供試体に自然クラックを入れるため、クラックが適当な深さにはいるまで目視で確認しながら荷重を行った。そして、これら自然クラックを入れた供試体全てから前述の方法で応答スペクトルを再度求めた。

最後に、クラックがどこまで進展したかを測定するために染色液を流し込み、クラック面を染色した。染色液には粒子の細かさを考慮してAE減水剤の原液を使用した。まず、ノッチとクラックを囲むようにコンクリート表面にグリスを塗り、ノッチ部に注射器を用いて染色液を流し込んだ。そして、ノッチ部に染色液が必ずたまっ

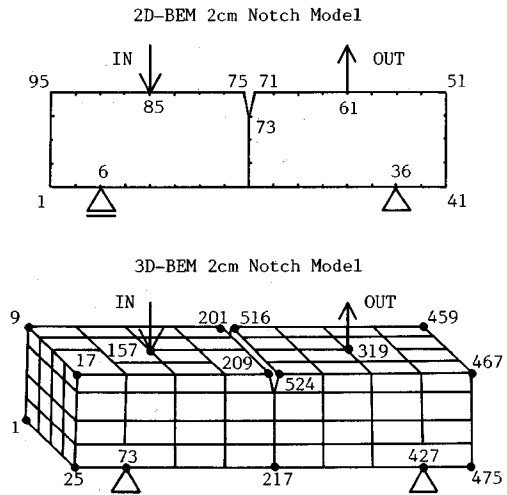


図-4 BEM解析でのメッシュ分解図

ているように、3日間定期的に染色液を流し込んだ。その後、余分な染色液を取り除き乾かした後、全ての供試体を完全に破断させた。

3. BEM解析

解析は、AEコンクリートの2 cmノッチ、3 cmノッチ、5 cmノッチについてBEM理論に基づいた2次元共振解析プログラム⁵⁾に、実験で得たコンクリート供試体のヤング率、ポアソン比をそれぞれ入力し、各モデルに0 kHzから20 kHzまで488 Hzごとに各周波数における動的応答を求めた。さらに今回は、3次元に拡張されたBEMプログラム⁵⁾も用いて、AEコンクリートの2

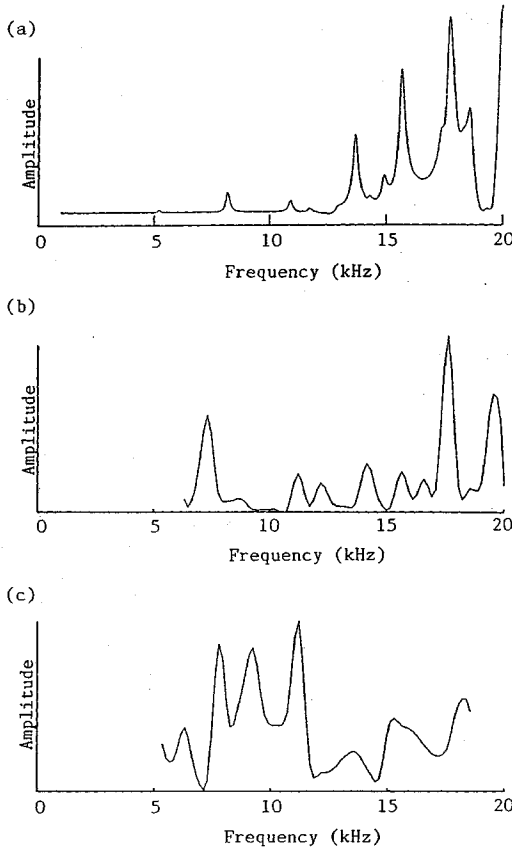


図-5 (a) AEコンクリート(ノッチ深さ2cm)での実験結果と(b)2次元BEMおよび(c)3次元BEM結果

cmノッチについて同様の解析を行い3次元動的応答を求めた。

2次元2cmノッチ解析モデルと、3次元2cmノッチ解析モデルを図-4に示す。代表的な節点番号は図中に示されている。

3次元解析モデルは、2次元2cmノッチ解析モデルをさらに1.25cm間隔で奥行き方向に拡張し、節点を設けたものである。入力点および受信点は、2次元解析モデルと同様にノッチの両側10cmで、奥行き方向の中央点とした。

4. 実験結果および考察

人工ノッチを設けた全ての供試体について、それぞれ2本ずつ応答スペクトルを求めた。X-Yレコーダに記録した応答スペクトルの例(AEコンクリート、2cmノッチ)を図-5(a)に示す。ところが、これらの応答スペクトル図の振幅は、前述した計測システムの応答特性、および実験時における調整により実際の現象と異なる可能性がある。そこで本研究では、それらの影響を受けることのないファクターとしてピークの発生周波数お

表-2 実験で観察されたピーク周波数

	(kHz)									
	AE 2cm No3 No4		AE RC 2cm No11 No12		AE 3cm No1 No2		AE 4cm No1 No2		AE 5cm No1 No2	
F1	8.1	8.2	8.0	8.0	7.9	8.0	7.7	7.8	7.8	7.7
F2	10.8	10.9	10.7	10.7	10.7	10.7	10.6	10.6	—	—
F3	11.6	11.7	11.4	11.3	11.4	11.5	11.0	11.1	10.7	10.6
F4	13.5	13.7	13.4	13.3	—	—	—	—	11.8	11.7
F5	14.8	14.9	14.6	14.6	14.3	14.4	13.5	13.4	12.8	12.6
F6	15.4	15.7	15.4	15.4	15.0	15.1	14.7	14.7	14.5	14.4

よびピークの出現状況を比較の対象として検討する。

全てのスペクトルを見てみると、以下のことがわかった。まず、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。次に、全てのスペクトルの1次ピークから6次ピークまで、発生周波数域にして8kHz前後から15kHz前後まで、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た。そこでピークの出現状況を追っていくことにより各供試体のスペクトルのピークを対応させることができ、それによって欠落しているピークを見つけ出すこともできた。欠落したピークについては、10cmという供試体高さに対して3,4,5cmとかなり深く入っていることから、ひびわれの進展により供試体の振動形態が変化したものと思われる。以上の結果をふまえて、AEコンクリートと鉄筋コンクリートの場合に対応する1次ピークから6次ピークまでの発生周波数をまとめると表-2のようになる。

表を見ると、全体的な傾向として、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ることがわかる。そこで、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いことがわかる。ノッチ深さを変化させると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る。そこで、ひびわれ深さの推定に関してこの5次ピークに注目することにした。

解析結果と実験結果の比較をするために、解析における受信点(計測実験時の受信センサ取付位置に相当する)のy方向の変位を周波数軸にプロットした。その結果として図-5(b)に2次元解析結果を、図-5(c)に3次元解析結果を示す。なお、解析結果の図の縦軸のスケールは、1次ピークから5次ピークまでがもっとも見やすくなるように適当に拡大し、1次ピークより低い周波数

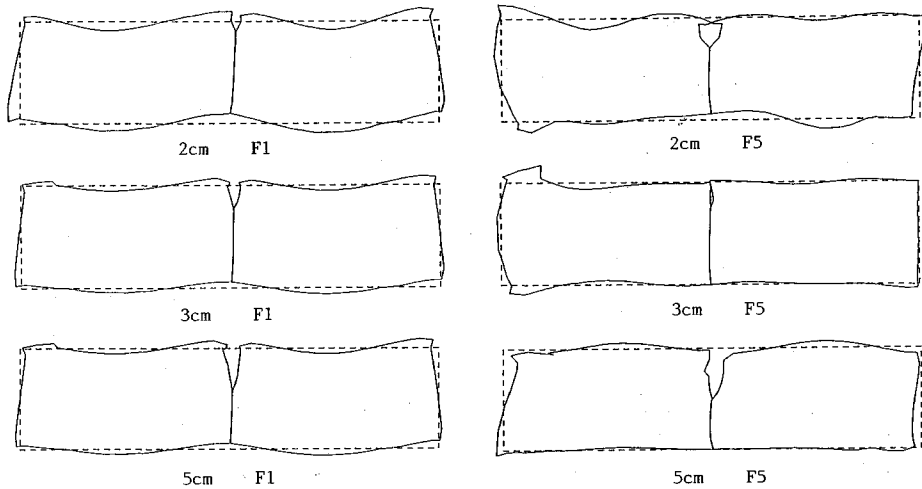


図-6 BEM 解析で得られた共振モード図

表-3 実験でのピーク周波数と BEM 解析との比較 (kHz)

	AE 2cm			AE 3cm		AE 5cm	
	No4	2D- BEM	3D- BEM	No2	2D- BEM	No2	2D- BEM
F1	8.2	7.3	7.8	8.0	6.8	7.7	6.8
F2	10.9	11.2	9.3	10.7	10.7	—	8.7
F3	11.7	12.2	11.2	11.5	11.7	10.6	9.8
F4	13.7	14.2	13.7	—	13.7	11.7	11.2
F5	14.9	15.6	15.1	14.4	15.1	12.6	12.2
F6	15.7	17.6	16.1	15.1	17.1	14.4	14.6

域はシステム自体の出力特性を考慮してカットした。実験結果と解析結果の1次ピークから6次ピークまでの詳細は、表-3にまとめてある。

これらの図と表からは以下のことがわかる。まず、前に述べたように実験結果の1次ピークはノッチ深さに関係なく8kHz前後で一定していた。それに対して2次元BEM解析結果の方は、実験結果に比較して発生周波数は低くなっているが、7kHz前後で一定している。この周波数域のずれは、3次元BEM解析結果と比較すればわかるように、3次元的な共振特性の影響が大きいと思われる。次に、1次ピークから5次ピークまで、その発生周波数についてみると5cmノッチについては多少ずれが大きいですが、2cm, 3cmノッチについてはほぼ似かよった周波数を示しておりまずまずの結果が出ている。また、3次元解析について見てみると、それぞれのピークにおいて、実験結果に2次元解析より近い値を示しており、精度的に3次元解析の方がすぐれていることがわかる。

次に、1次ピークと5次ピークでの共振特性を検討するために、2次元BEM解析より得られた結果から、1次ピークと5次ピークに相当する周波数時の共振モード

図を作成した。その結果を図-6に示す。この共振モード図も、動きを見やすくするために各モデルごとに変位の増幅率を適当に変えてある。

まず、1次ピーク時の共振モードにおいては、2cm, 3cm, 5cmノッチの各モデル全てが類似した曲げ変形モードをとっている。それに対して、5次ピーク時の共振モードにおいては、各モデルが明らかに異なった変形モードをとっている。これは、1次ピークに相当する周波数時における供試体の振動形態は、ひびわれの進展による影響をあまり受けておらず、その結果各モデル全てが同じ変形モードをとったことにより、ピーク発生周波数に変化がみられなかったと考えられる。一方、5次ピークに相当する周波数時における供試体の振動形態は、ひびわれの進展による影響を大きく受け、ひびわれが深くなるにつれて変形モードが刻々と変化したことにより、ピークの発生周波数が低周波数側へ変化したと考えられる。

以上より、本研究で使用した解析モデルで得られた解析結果より、1次ピークと5次ピークの移動挙動の差異についての原因が示された。

5. スペクトロスコピーによるひびわれ深さの推定

本研究の目的は、形状寸法、および材質の異なる供試体より得られた応答スペクトルからひびわれ深さを推定しようというものである。そこで、ノッチ深さを2~5cm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次ピークに着目し、そ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

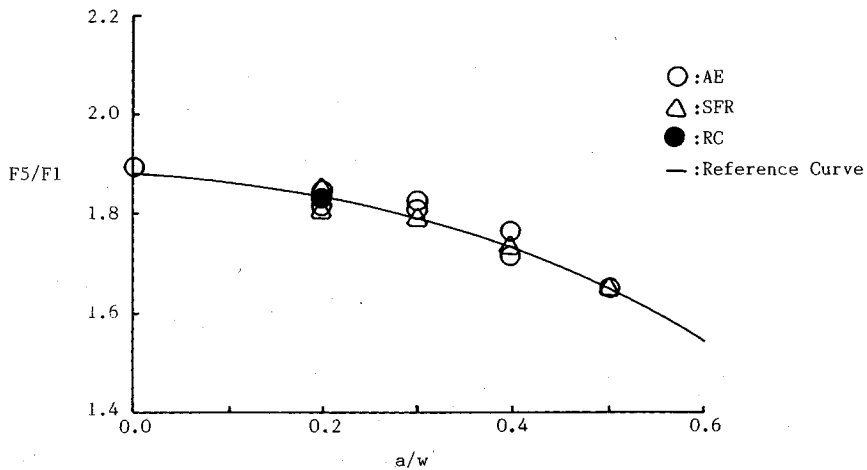


図-7 ノッチ供試体より求められた周波数比の参照曲線

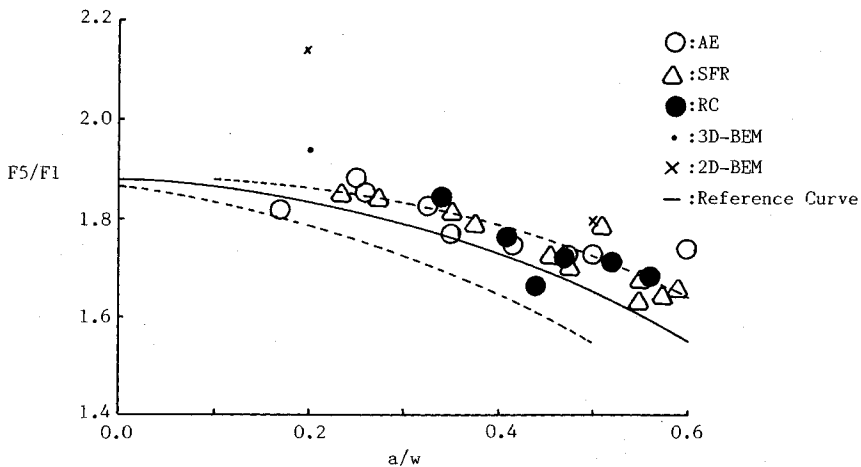


図-8 周波数比とひびわれへの浸透深さの比較

計算した。さらに、縦軸の切片を求めるために AE コンクリートについては、ノッチの入っていない供試体 ($a=0$) を用いて $F5/F1$ を求めた。図-7 に示すように、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 22 点から 2 次式で近似させて reference curve を作成した。これより、このリファレンスカーブは、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ていないことがわかる。さらに、BEM 解析の結果より供試体の振動形態に依存してピーク周波数の移動が見られることが明らかであり、これより供試体の形状が同一であれば、一つのリファレンスカーブが得られることが予想できる。

次に、載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、全ての供試体の破断面の染色

の具合から実際のひびわれ深さを測定した。この場合、ひびわれ深さの測定方法については、ひびわれが一樣に入っているものは、最深と最浅を測定しその平均値をひびわれ深さとした。また、ひびわれの凹凸が激しいものは、その凹凸の度合により 4 から 6 点を測定しその平均値をひびわれ深さとした。

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と供試体高さの比 a/w を対応させた結果を、図-8 に示してある。さらに、BEM 解析によって得られた結果も示す。

図-8 では、プロットされた点がよりリファレンスカーブ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リファレンスカーブの右側にあれば、ひびわれ深さを実際よりも浅く推定したことを、あるいは左側にあれば、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%に達しており、このリファレンスカーブは全体的な傾向を十分に表していると考えられる。

このひびわれ深さが深くなるにつれて推定ひびわれ深さの誤差が大きくなる傾向については、おそらく1次ピークが影響していると思われる。本研究では、1次ピークはノッチ深さに関係なくほぼ一定であるという仮定のもとにF5/F1の値を用いた。ところが、ノッチ深さが極端に深くなるにつれて、1次ピークも発生周波数が1 kHz 前後低くなっている。その結果、F5/F1の値が大きくなり、推定ひびわれ深さが実測ひびわれ深さより浅く推定してしまう結果となったと考えられる。また、リファレンスカーブは5 cm ノッチまでのデータをもとに作成したもので、厳密に言えば、 $a/w=0.5$ 以上は全くの近似にすぎない。

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、ひびわれが鉄筋に到達している鉄筋コンクリートについても、精度は誤差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⁶⁾とされているが、今回の方法によればひびわれが鉄筋に到達している場合についても十分に推定可能であると思われる。

以上の結果より、 $a/w=0.5$ 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。

6. 結 論

以上の結果および考察により以下の結論が得られる。

1) 応答スペクトルより得られた1次ピークから5次ピークまでは、ひびわれ深さが深くなるにつれて、発生

周波数が低くなる傾向にある。特に5次ピークはこの傾向が著しい。この5次ピークと1次ピークの発生周波数比より、ひびわれ深さを推定することを検討した。

2) AEコンクリート、鋼繊維補強コンクリート、鉄筋コンクリートについて、リファレンスカーブを求めることができるならば、コンクリート材料の区別に関係なくスペクトロスコーピーを用いたひびわれ深さ推定の可能性が示された。

3) ひびわれ深さとピーク周波数の関係については、BEM解析により共振モードの変化として、現れていることが明らかになった。

本論文の方法では、ひびわれに関する情報をコンクリート部材の振動形態の変化から求めている。実際のコンクリート部材、コンクリート構造物について考えてみても、ひびわれの存在および進展による振動形態の変化は十分にありうるので、ひびわれに関する情報を取り出すことは可能であろう。現実にはひびわれが複数存在することも考えられるが、ひびわれの間隔が20 cm 以上ある場合は、センサをひびわれ1本ずつをはさむように設置すれば、それぞれを1本のひびわれとみなすことができよう。さらに、それ以下の場合には、ひびわれが複数存在することによる振動形態への影響を把握することができれば、本論文の方法は十分に有効であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 富士岳：超音波によるひびわれ深さおよび厚さ測定の現状，日本非破壊検査協会，009特別研究委員会資料，No.009-13，pp.1~9，1989。
- 2) 尼崎省二：超音波法によるコンクリートの非破壊検査について，日本非破壊検査協会，009特別研究委員会資料，No.009-14，pp.10~18，1989。
- 3) 魚本健人・加藤 潔・広野 進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版。
- 4) 坂田康徳・大津政康：超音波スペクトロスコー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，pp.69~78，1990。
- 5) 大津政康・中川照久・上杉真平：超音波を用いた鉄筋コンクリートのひびわれ深さ評価に関する考察，セメント・コンクリート論文集，No.44，pp.276~281，1990。
- 6) 尼崎省二・明石外世樹：超音波法によるコンクリート部材のひびわれ深さ測定に関する基礎的研究，コンクリート工学年次講演会論文集2巻，pp.133~136，1980。

(1991.2.8受付)

CRACK DEPTH EVALUATION IN REINFORCED CONCRETE MEMBERS BY ULTRASONIC SPECTROSCOPY

Teruhisa NAKAGAWA, Shinpei UESUGI and Masayasu OHTSU

The ultrasonic spectroscopy is applied to evaluating crack depths in reinforced concrete members. Spectral responses of plain and reinforced concrete members are investigated in the range of frequency up to 20 kHz.

Peak frequencies in the spectra are varied, depending on the crack depth. These behaviors are clarified analytically by the boundary element method (BEM). As a results, it is found that resonant frequencies of the members are closely related with the vibration modes which are sensitive to the crack depth, not only in plain concrete but also in reinforced concrete.

Consequently, the ratio of peak frequencies is selected as a measure for estimating the crack depth. The feasibility of the technique is confirmed by the penetration test of cracked members.
